

MARBURG

1968

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kiefer-
krankheiten der Universität Marburg

Direktor: Prof. Dr. med. et Dr. med. dent. H. Heuser

Ein Vergleich der Abriebfestigkeit dreier Modellwerkstoffe unter Anwendung einer neuen Methode

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Volker Elsner

aus Habelschwerdt

Marburg 1968

Fotodruck von Erich Mauersberger in Marburg

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kiefer-
krankheiten der Universität Marburg

Direktor: Prof. Dr. med. et Dr. med. dent. H. Heuser

Ein Vergleich der Abriebfestigkeit dreier Modellwerkstoffe unter Anwendung einer neuen Methode

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Volker Elsner

aus Habelschwerdt

Marburg 1968

Fotodruck von Erich Mauersberger in Marburg

Angenommen von der Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg a.d.Lahn
am: 16.7.1968

Dekan: Prof. Dr. med. R. Siegert

Referent: Prof. Dr. med. dent. G. Janke

Korreferent: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. H. Heuser

G l i e d e r u n g

Seit

A: Einleitung	
1.) Das Problem der Festigkeit und ihre verschiedenen Definitionen	1
2.) Die bisher in der Literatur erwähnten Abrasionsmethoden	2
a.) Die Sandpapierscheibe von PEYTON, LEIBOLD und RIDGLEY	2
b.) Der Industriediamant von ÖSTLUND	3
c.) Die Ritzhärteprüfung nach HOSODA und Mitarbeitern	5
d.) Die Methode nach TORESKOG, PHILLIPS und SCHNELL	5
B: Hauptteil	8
I. Begründung des neuen Testes und Plan der Untersuchung	8
1.) Prinzip der neuen Prüfapparatur	8
2.) Berechnung des Abriebvolumens	10
3.) Fehlerquellenbetrachtung	12
II. Vorversuche zur Methodik	13
1.) Vorversuche	13
2.) Ergebnisse der Vorversuche	15
III. Bestimmung der Abriebfestigkeit	25
1.) Material	25
a.) Liste der Materialien	25
b.) Beschreibung der Materialien	25
Modellmaterialien	25
Hartgips	25
Kol Dur	26
Abdruckmassen	26
Silikone	26
Kompositionsmassen	26
Härterlösung	26
2.) Methodisches Vorgehen	27
a.) Herstellung der Prüfkörper	27
Allgemein	27
Speziell für die einzelnen Materialien	28
3.) Ausführung der Hauptversuche	29
IV. Ergebnisse	60
C: Diskussion	65
D: Zusammenfassung	71
(E: Anhang mit Tabellen)	
F: Literaturverzeichnis	

A: E I N L E I T U N G

1.) Das Problem der Festigkeit und ihre verschiedenen Definitionen.

Da in der täglichen Praxis die Resultate bei Gußfüllungen und gegossenen Kronen oft nicht ganz befriedigen, wurde es notwendig, die Ursachen dieser enttäuschenden Ergebnisse zu untersuchen. Die Fehlerquellen haben nicht nur ihren Grund in der nachlässigen Handhabung der Methode, sondern oft in den unzureichenden Eigenschaften der verwendeten Materialien. Daher wurde auch immer wieder versucht, die Methode und die Materialien zu verbessern. So gab SPRENG¹⁹⁾ 1929 ein Verfahren an, das in etwa unserem heutigen Modellguß gleichkommt. Hier wird eine expandierende Einbettmasse als Modellmaterial benutzt.

TORESOG, PHILLIPS und SCHNELL²⁰⁾ sehen eine der Hauptfehlerquellen in dem Modellstumpf, auf dem die Wachsmodelle hergestellt werden. Dies liegt begründet in mehreren Tatsachen: Alle Materialien erfahren beim Aushärten eine mehr oder minder große Volumenänderung: Kontraktion oder Expansion, die durch Kombination mit entsprechenden Abdruck- und Einbettmassen möglichst ausgeglichen werden muß. Dieses oft gegensätzliche Verhalten der einzelnen Modellmassen rührt von ihrer unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung her.

Typen der verschiedensten Stoffklassen werden heute zur Herstellung der Modelle benutzt: Metalle (Amalgam), Hartgipse (Duroc, Moldano), Resinzemente (Resina), Silikophosphate (Harvard), Kunststoffe (Palavit M) oder Kombinationen dieser Klassen (Kol Dur: Metall mit Kunststoff). So ist es auch nicht verwunderlich, daß die einzelnen Gruppen ganz unterschiedliche Eigenschaften besitzen.

Überdies haben manche eine ungenügende Wiedergabegenauigkeit, so daß wichtige Feinheiten des Originals unterschlagen werden. Hierzu gehört auch die Fähigkeit, eine glatte und dichte Oberfläche zu bilden.

Wieder andere haben eine mangelhafte Härte bzw. Abriebfestigkeit. Das Kriterium der Härte wird für die Modellmaterialien nicht einheitlich beurteilt. Dies wird ersicht-

lich, wenn man sich die verschiedenen Interpretationen dieser Eigenschaft betrachtet: So wird von der Härte schlechthin gesprochen, gemessen nach Brinell, Vickers oder Rockwell. Das Prinzip dieser Messungen ist die Berechnung der Eindrucktiefe der verschiedenen Testkörper bei einem festgelegten Druck und nach einer bestimmten Zeit. Dabei hängt der Aussagewert der entstehenden Ergebnisse zum Vergleich zwischen den getesteten Materialien aber stark von deren Elastizität ab, so kann paradoxerweise Gummi eine höhere Härtezahl besitzen als Stahl. Zum anderen muß der Rand der Eindruckkerbe scharf ausgebildet sein, damit die Weiten exakt ausgemessen werden können. Aus diesen Gründen wurde ein neues Gerät zur Härteprüfung entwickelt: Der Knooptester, der einen Mikrohärtetester darstellt und bei dem die Eindrucktiefe unter der Last ausgemessen wird.

Diesem Typ der Härte wird die Oberflächenhärte gegenübergestellt, das heißt die Härte, die durch eine Härtertauchlösung wie z.B. Polystyrol erhöht wird, da diese nur in einer oberflächlichen Lage absorbiert werden (TORESKOG²⁰).

Daneben kennt man noch die Kantenfestigkeit. Gemessen wird die Kraft, bei der eine belastete Kante abgeschert wird.

Als letzter Begriff ist noch der Abrasionswiderstand oder die Abrasionsfestigkeit anzuführen. Gerade dieses Kriterium erscheint uns sehr wichtig zur Charakterisierung der Modellmaterialien, denn die Stümpfe sind während der Wachsmodellherstellung schneidenden und schabenden Einflüssen ausgesetzt. Es sind schon mehrere Versuche unternommen worden, mit Hilfe eigens dafür konstruierter Apparate aussagekräftige Ergebnisse bezüglich der Abrasionsfestigkeit zu erzielen (HOSODA⁵), (ÖSTLUND⁹), (PEYTON¹²), (TORESKOG²⁰).

2.) Die bisher in der Literatur erwähnten Abrasionsmethoden

a.) Die Sandpapierscheibe von PEYTON, LEIBOLD und RIDGLEY
PEYTON, LEIBOLD und RIDGLEY¹²) haben als erste darauf hingewiesen, daß die Oberflächenbeschaffenheit eines der wichtigsten Kriterien zur Charakterisierung der Modellmaterialien

neben der Wiedergabegenauigkeit und Volumenbeständigkeit ist. Sie benutzten für ihre Messungen den Knooptester und eine neu entwickelte Apparatur zur Bestimmung des Abrasionswiderstandes. Das Prinzip der Maschine besteht in einer rotierenden Sandpapierscheibe, gegen die eine zylindrische Probe unter einer bestimmten Last und während einer festgelegten Zeit gepreßt wird, ähnlich wie SCHILLER¹⁵⁾ es später zur Prüfung der Härte der Kunstharzzähne vorge-schlagen hat. (Er benutzt eine mit Sandpapier belegte Walze). Gemessen wird der prozentuale Gewichtsverlust durch Wiegen vor und nach dem Test

Mögliche Fehlerquellen:

1. SCHILLER¹⁵⁾ wies nach, daß die vom Handel gelieferten Sandpapiere nicht exakt genug die gleiche Körnung besitzen, so daß die Werte kaum miteinander vergleichbar sind, auch wenn gleiche Qualität verwendet wird. Er will die Fehlerquelle ausschalten, indem er die benutzten Papierscheiben vorher mit immer gleichbleibenden Prüfkörpern testet und alle Werte dann auf einen Nenner zu bringen versucht.
2. Als falsch sehen wir an, daß der Gewichtsverlust als Maßstab für die Abrasion herangezogen wird, da die Stoffe ein unterschiedliches spezifisches Gewicht besitzen.
3. Der Prüfkörper nähert sich während des Testes auf einer Spirale dem Zentrum des Tellers, damit die Probe immer mit einer frischen Sandpapieroberfläche in Berührung kommt. Dadurch nimmt aber die Geschwindigkeit, mit der die Sandpapieroberfläche die Probe abradiert, ab, während die Geschwindigkeit der Scheibe an sich gleich bleibt.
4. Die Beschädigung, die der Modellstumpf bei der Herstellung eines Wachsmodells erleidet, wird durch die Abrasion mit einer Sandpapierscheibe schlecht nachgeahmt.

b.) Der Industriediamant von ÖSTLUND

Auch ÖSTLUND¹¹⁾ bezweifelt, daß die Bestimmung der Oberflächenhärte in der herkömmlichen Weise nach Brinell oder Rockwell eine adäquate Beurteilung der Modellmaterialien zuläßt.

Denn gerade der Schaden, den die Stümpfe bei der Wachstmodellherstellung erleiden, wird durch abschabende oder abbrechende Kräfte verursacht. Bei der Bestimmung der Härte nach Rockwell oder Brinell aber wird der Widerstand eines Prüfkörpers, den dieser gegen das Eindringen eines härteren Körpers aufbringt, gemessen.

So entwickelte er einen Apparat, der in genauerer Weise einen Vergleich der Modellmaterialien während der Abrasion erlaubt.

Er stellte vier Grundregeln auf, nach denen er seinen neuen Tester erbaute: 1. Die Schneidkraft muß während des Testes konstant bleiben. 2. Das Ergebnis sollte durch mehrere Messungen an einer Probe ermittelt werden. 3. Die Abrasionsgeschwindigkeit muß niedrig und konstant sein, damit das Schneiden nicht den Charakter des Schlagens einnimmt. 4. Während des Testes darf keine höhere Reibungstemperatur auftreten als bei der üblichen Behandlung.

Die Prüfapparatur arbeitet folgendermaßen:

Eine Stahlfeder drückt mit einer Kraft von 125 g einen Industriediamanten mit einer geraden scharfen Kante gegen die rotierende Materialprobe. Der Testkörper besitzt die Form eines stilisierten Jacketkronenstumpfes. Dessen okklusaler Rand kommt mit dem Diamant in Berührung. Die Ergebnisse basieren auf der Breite der Schliffacette nach zwei vollständigen Umdrehungen, es wird also das verlorene Volumen berechnet. Nach der zweiten Umdrehung, die nach Augenmaß vom Untersucher bestimmt wird, muß der Motor manuell abgestoppt werden. Dieser Umstand beinhaltet aber eine Ungenauigkeit, die die Exaktheit der Ergebnisse beeinträchtigen dürfte.

Während der Abrasion bewegt sich der Wagen mit dem Industriediamanten in Richtung auf den Fixpunkt, an dem die Feder befestigt ist, mehr oder weniger weit heran, je nach der Menge, die abradert wird. Dadurch wird die Kraft, die die Stahlfeder leistet, nach dem Hookschen Gesetz geringer. Damit ist aber die erste Grundregel, die ÖSTLUND¹¹⁾ selbst aufgestellt hat, nicht mehr erfüllt.

c.) Die Ritzhärteprüfung nach HOSODA und Mitarbeitern

HOSODA und Mitarbeiter⁵⁾ benutzten zur Beurteilung der Oberflächenhärte ein Kratzinstrument, ähnlich wie es zur Bestimmung der Härte von Lacken benutzt wird. Mit einer Stahlspitze (60°) wird unter einer Last von 10 g und einem Neigungswinkel von 30° eine etwa 15 mm lange Kerbe in die Probenoberfläche geritzt, dessen Weite an fünf Stellen mit dem Meßmikroskop ausgemessen wird. Nach mehreren Tests wird die Spitze wieder angeschärft, bevor eine meßbare Abnahme der Schärfe eintritt. Da die Härte umgekehrt proportional dem Quadrat der Kratzweite ist, wird als Kratzhärtenummer die Zahl abgeleitet, die aus der Multiplikation des Quadrates von dem reziproken Wert der Kratzweite in μ mit 10^5 resultiert. Es ist dies eine willkürliche Zahl, aber sie liegt in überschaubaren Dimensionen und läßt leichter einen Vergleich mit den üblichen Härtenummern zu. Die Ergebnisse, zu denen diese Forschergruppe kommt, beweisen, daß diese Oberflächenhärtebestimmung doch sehr exakt auf die Oberflächeneigenschaft beschränkt ist. Die Resultate gestatten somit eine relativ genaue Aussage über die Eignung eines Stumpfmateri als während der Wachsmode llherstellung.

Da jedoch die zu untersuchenden Modellmaterialien von unterschiedlicher Härte sind, ist der Neigungswinkel der Spitze bei keiner Probe genau definiert. Im gleichen Sinne ändert sich auch die Richtung der Kraft, mit der das Instrument auf die Probe wirkt. Dadurch wird der vergleichende Aussagewert der Ergebnisse eventuell etwas beeinträchtigt.

d.) Die Methode nach TORESKOG, PHILLIPS und SCHNELL

Ähnlich wie ÖSTLUND¹¹⁾ verwenden TORESKOG, PHILLIPS und SCHNELL²⁰⁾ eine Maschine, mit der eine Kante der Testkörper mit einer scharfen Klinge oder mit dem rechteckigen Rand eines Stahldrahtes abgeschnitten wird. Als Maß der Abrasion wird der Mittelwert des verlorenen Volumens pro Millimeter errechnet.

Zur Kritik dieser Methode ist anzuführen:

a.) Das Abrasionsinstrument verändert während des Testes dauernd seine Lage in Bezug auf die Proben. Zu Beginn ist die Klinge oder Drahtkante genau parallel der Grundlinie der rechtwinklig, gleichschenkligen Kante des Prüfkörpers. Mit Fortdauer des Versuches senkt sich der Arm, an dem die Instrumente befestigt sind, immer mehr, und die Abweichung von der parallelen Lage nimmt zu. Dadurch ist die Lage der Klinge oder des Stahldrahtes in Bezug auf die Proben nicht mehr definiert. S. Abb. 1

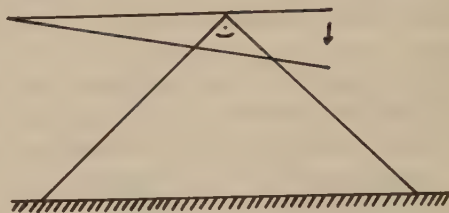


Abb. 1

b.) Da bei der Berechnung des Volumenverlustes von der Messung der Weite der Abrasionsfläche ausgegangen wird,

ergibt sich evtl. eine weitere Ungenauigkeit. Denn mit dieser Angabe allein und der Kenntnis des rechten Winkels gegenüber dieser Seite kann nur die Fläche eines rechtwinklig-gleichschenkligen Dreiecks berechnet werden, was hier jedoch nicht vorliegt. Der errechnete Volumenverlust ist also immer größer als der

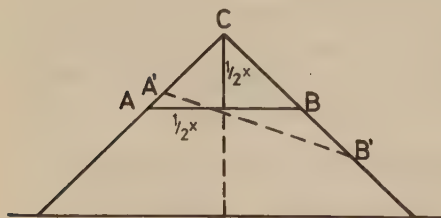


Abb. 2

tatsächliche. Je größer die Abweichung von der parallelen Lage ist, desto größer wird auch der Berechnungsfehler.

$$F_{ABC} = \frac{1}{4}x^2 \quad F_{A'B'C'} \quad \text{s. Abb. 2}$$

Wie aus den obenangeführten Darlegungen hervorgeht, sind schon viele Methoden zur Bestimmung des Abrasionswiderstandes entwickelt worden. Sie alle haben unseres Erachtens nur einen begrenzten Aussagewert. So liefert z.B. der Kratztester von FUSAYAMA⁵⁾ (Mitarbeiter von HOSODA⁵⁾) nur bei sehr geringen Kratztiefen (die er bei seinen Versuchen eingehalten hat) sehr genaue Ergebnisse, da die Änderung des Neigungswinkels so gering ist, daß sie nicht ins Gewicht fällt.

Es ist nicht Zweck dieser Arbeit, diesen vielen Methoden noch eine weitere hinzuzufügen, sondern die Vorteile aller Untersuchungsarten zu vereinen und einen möglichst für alle Materialien aussagekräftigen Test zu entwickeln. Bei der damit durchgeführten Härteprüfung sollen die Einflüsse auf die Modellmaterialien, die im Labor während der Fertigung der Gußobjekte auftreten, untersucht werden.

B: HAUPTTEIL

I. Begründung des neuen Testes und Plan der Untersuchung

In der vorliegenden Arbeit soll nun eine neue Methode entwickelt werden, die alle Vorteile der oben genannten Teste vereinigt und nach Möglichkeit deren Ungenauigkeiten vermeidet. Es wird versucht, die Beanspruchungen, denen die Stumpfmaterialeien während der Wachsmode'llherstellung ausgeliefert sind, möglichst genau nachzuahmen und für einen Test zu abstrahieren, der für alle Stoffklassen der Modellmaterialien gilt.

Die Ergebnisse der Versuche mit drei verschiedenen Materialien sollen miteinander verglichen werden. Daneben sollen die verschiedenen Einflüsse, die die Härte der Werkstoffe beeinträchtigen, untersucht werden, inwieweit sie die Ergebnisse des Abrasionswiderstandes verändern, als da sind:

1. Mischungsverhältnis
2. Lagerzeit
3. Abdruckmassen (Iastic 55, Kerr grün)
4. Oberflächenhärtung (10% Polystyrollösung in Butylacetat)
5. Unter Vakuum anrühren
6. Aufbewahrung bei normaler Laboratmosphäre bzw. im Trockenschrank
7. Zentrifugieren.

1.) Prinzip der neuen Prüfapparatur

Der neue Tester besteht im wesentlichen aus einem kreisförmigen stählernen Fräser, gegen dessen Schneidkanten ein ebener Prüfkörper mit einer bestimmten Kraft gepreßt wird. Als Abrasionsscheibe wird benutzt: Ein Fräsräd mit den Maßen 50 x 1,6 x 13 (Georg Schlitt, Frankfurt). Die Geschwindigkeit der Scheibe, die Kraft, mit der der Prüfkörper an diese gedrückt wird, und die Zahl der Umdrehungen werden durch Vorversuche bestimmt. (Siehe diese)

Als Antriebsmotor für die Scheibe dient ein Elektromotor:

	Au 5100/22
W	220 V - 50 Hz
01	250/min
	12 63

Zwischen Motor und Scheibe ist ein Getriebe eingeschaltet:

	Au 5300/BODM
W	1 = 125/2
01	17 64

Die Anzahl der Umdrehungen wird vorher an einem elektrischen Zählwerk (gebaut von der Firma Klöckner - Moeller - Bonn) eingestellt. Nach Ablauf der vorgewählten Umdrehungen unterbricht ein Luftschütz den Stromkreis für die Maschine. Das Abrasionsrad steht sofort, da der Elektromotor mit einer Magnetbremse versehen ist und deshalb keinen Nachlauf besitzt. Die Elektroimpulse für das Zählwerk werden von einem Mikroschalter geliefert, der nach jeder vollen Umdrehung von einem Mitnehmer auf der Achse, auf der die Scheibe montiert ist, betätigt wird. S. Abb. 3.

Bei der Anordnung dieser Anlage ist darauf zu achten, daß vor jedem Test der Mitnehmer gerade über den Mikroschalter hinweggegangen ist, denn wenn die Abrasionsscheibe ausgetauscht wird, kann der Mitnehmer nicht genau in die gleiche Lage gebracht werden. So kann exakt jede beliebige Umdrehungszahl, (in

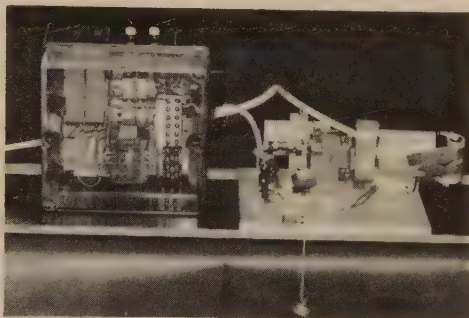


Abb. 3
Prüfapparatur

vorliegendem Falle bis 99, da nur zwei einstellige Zählwerke vorhanden sind) ohne Unterbrechung ausgeführt werden. Dies wird erreicht, indem man vor jedem Versuch (die Abrasions-scheibe ohne Kontakt mit dem Prüfkörper) eine Umdrehung vorwählt und bis zum Ausschalten laufen läßt. Dann werden die Proben mit der Hand vorsichtig auf die Schneidkante gelegt, die Gewichte in ihre Arbeitslage gebracht, die Vorwahl vorgenommen und der Hauptschalter betätigt.

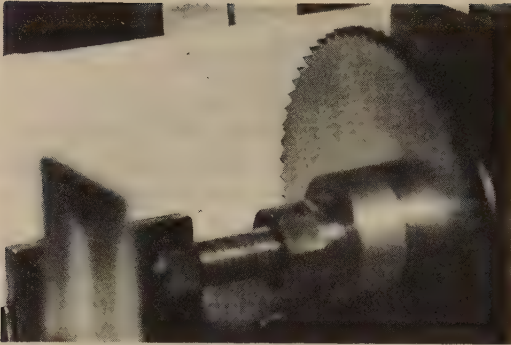


Abb. 4

Fräsrade mit Prüfkörper

Der Testkörper ist senkrecht auf dem Wagen befestigt, der ober- und unterhalb der Probe je eine Vorrichtung zur Aufnahme der Schnüre für die Gewichte besitzt. Der Wagen läuft auf Kugellagern, damit so wenig Kraft wie möglich durch Reibung verloren geht. Zwei Führungsschienen dienen dazu, die Proben immer im rechten Winkel zur Abrasionsscheibe zu halten. Die Gewichte werden über Rollen umgeleitet, so daß sie frei im Raum hängen. Von den Rollen zu den Anknüpfungspunkten am Wagen laufen die Schnüre waagrecht.

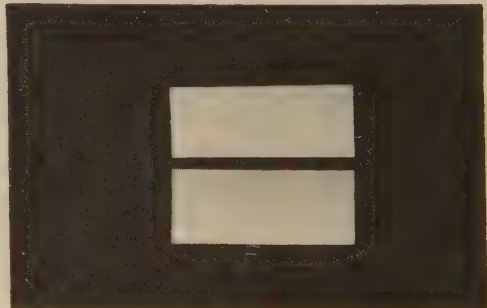
Der Testapparat wird mit der Wasserwaage justiert und in dieser Lage auf dem Arbeitstisch während aller Versuche belassen; damit wird erreicht, daß nur die beiden Gewichte die Prüfkörper gegen die Scheibe drücken und sich nicht das Gewicht des Wagens mit der Probe addiert oder subtrahiert.

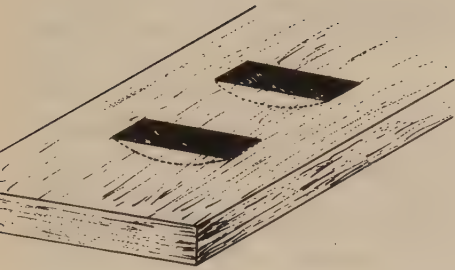
2.) Berechnung des Abriebvolumens

Als Resultat der Abrasion ergibt sich eine Kerbe, die folgende Form besitzt: Sie stellt den Kreisabschnitt der Abrasionsscheibe dar. S. Abb. 5

Abb. 5

Proben mit und ohne Kerben





Gemessen wird die Länge und Breite des Schlitzes. Da der Radius der Scheibe bekannt ist, kann der Volumenverlust berechnet werden. S. Abb. 6 und Abb. 7

Abb. 6

Fläche des Kreisabschnittes mit der Sehne AB (S_g) =
Fläche des Kreisausschnittes ABM (S) - Fläche ABM
 $S_g = S - F_{ABM}$

Berechnung des Öffnungswinkels :

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{s}{2r}$$

Berechnung des Kreisausschnittes S:

$$S = r^2 \frac{\alpha}{360}$$

Da für den Bogen B

$$B = r \frac{\alpha}{180} = r \text{ arc gilt,}$$

folgt für den Kreisausschnitt S

$$S = \frac{1}{2} r^2 \text{ arc}$$

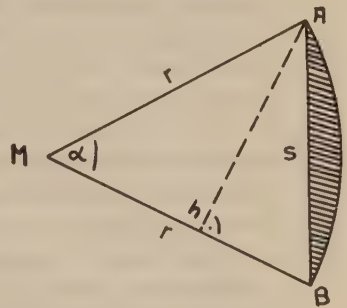


Abb. 7

Berechnung der Fläche des Dreiecks ABM:

$$F_{ABM} = \frac{1}{2} rh$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{h}{r}$$

$$h = r \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$F_{ABM} = \frac{1}{2} r^2 \sin$$

Daraus folgt für den Kreisabschnitt Sg:

$$\begin{aligned} Sg &= \frac{1}{2} r^2 \cdot \text{arc} - \frac{1}{2} r^2 \sin \\ &= \frac{1}{2} r^2 (\text{arc} - \sin) \end{aligned}$$

Für das Volumen des Abriebes folgt:

Sg · Breite (b) des Abriebspaltes = Volumen des Abriebes

$$\begin{aligned} V_{Abr.} &= Sg \cdot b \\ &= \frac{1}{2} r^2 (\text{arc} - \sin) b \end{aligned}$$

3. Fehlerquellenbetrachtung.

Die Breite und die Länge des Abriebspaltes wird mit dem Meßmikroskop von Leitz im Schräglicht ausgemessen. Da die Ränder der Kerbe nicht ganz glatt, sondern durch die verschiedenen Partikelchen, die herausgerissen wurden, ausgefranst sind, kann der Spalt nicht genau ausgemessen werden. Bei einer durchschnittlichen Breite von 1,6 mm und einer Länge von über 2 mm fällt der relative Fehler aber nicht ins Gewicht. Bei der Berechnung des Abriebvolumens im Bereich von sehr kleinen Winkeln (von 0° - 2° etwa) kommt es zu einer Annäherung der Werte des Bogenmaßes, der Sehne und des Sinus des Öffnungswinkels, so daß $\text{arc} \approx \sin \approx \text{Sehne}$. Dadurch wird die Volumenberechnung bei kleinem Winkel ungenau, da kaum eine Tabelle genau genug die Werte liefert. Bei unseren Versuchen liegen die Winkel zwischen 4° und 20°. Die Rechnung wird mit Hilfe von siebenstelligen dekadischen Logarithmentafeln ausgeführt, damit der Fehler so klein wie möglich bleibt.

II. Vorversuche zur Methodik

1.) Vorversuche

Folgende Vorversuche wurden zur Festlegung der Versuchsbedingungen für notwendig erachtet und durchgeführt.

Vorversuch I: (Kraft)

Es wird von dem Grundgedanken ausgegangen, ähnliche Bedingungen im Test zu schaffen, wie sie zu den Schäden an den Modellstümpfen im Labor führen. Durch mehrere Versuche, die direkt auf einer Waage durchgeführt wurden, stellte sich heraus, daß der durchschnittliche Druck, mit dem die Modellinstrumente auf das Arbeitsobjekt gedrückt werden, etwa 100 g beträgt. Diese Kraft liegt etwa in der Mitte von denen, die ÖSTLUND¹⁰⁾ (125 g) und TORESKOG²⁰⁾ (55 g) bei ihren Versuchen angewendet hatten.

Vorversuch II: (Geschwindigkeit)

Die Geschwindigkeit, mit der das Modellinstrument über den Modellstumpf schabt, wird bei mehreren Versuchen mit der Stoppuhr festgestellt. Wir fanden einen Wert von etwa 6 mm / sec (für 1 cm wurden etwa 1,6 sec benötigt). Zu dem gleichen Resultat kam auch TORESKOG²⁰⁾ (6 mm/sec) und HOSODA⁵⁾ mit seinen Mitarbeitern (7 mm/sec).

Vorversuch III: (Tiefe)

Durch den Abrasionstest soll die Oberflächeneigenschaft der Modellwerkstoffe bestimmt werden. Aus diesem Grund muß der Abrasionswiderstand gemessen werden, der möglichst nur von der Oberflächenhärte bestimmt wird, d.h. die Kerbe darf nicht zu tief sein. Eine Tiefe von etwa 0,25 mm halten wir daher für angemessen. Um zu bestimmen bei welcher Umdrehungszahl diese Tiefe kaum überschritten wird, wurden folgende Messungen gemacht,

Ein über vier Wochen im Labor gelagerter Prüfkörper aus Moldano, der auf eine Glasoberfläche gerüttelt wurde und dessen Mischungsverhältnis Wasser : Pulver 25 : 100 beträgt, wird zu dem Test benutzt. Bei einer Geschwindigkeit von etwa 6 mm/sec (Vorversuch II) und einer Belastung von 100 g

(Vorversuch I) werden mit einer neuen Abrasionsscheibe nacheinander 5 Kerben geschnitten mit 5, 10, 20, 40 und 80 Umdrehungen. Die Länge der Kerben werden ausgemessen und die Tiefe berechnet (nach dem Satz des Pythagoras).
Tabelle zu Vorversuch III.

Vorversuch IV: (Abnutzung der Fräser)

Um der Frage nachzugehen, inwieweit die Schärfe der Frä-serschneiden sich durch den Abrasionsverlust verringert, werden für alle drei zu testenden Materialien Eichkurven aufgestellt. Es werden Prüfkörper hergestellt nach dem gleichen Verfahren wie zum Haupttest:

Duroc 24 : 100 (Flüssigkeit / Pulver)

Moldano 25 : 100 (Flüssigkeit / Pulver)

Kol Dur 2 Tropfen Flüssigkeit / 1 g Pulver

Sie werden für drei Tage im Memmertschrank bei 60° C gelagert. Auf diesen so behandelten Proben werden mit je einem neuen Fräsrads unter den in Vorversuch I, II und III bestimmten Bedingungen die Messungen ausgeführt. Gemessen wird jeder fünfte Test (s. Tabelle 1, 2, 3 und graph. Darst. 1 - 3).

Vorversuch V: (Gewichtsverlust)

PEYTON¹²⁾ gibt als Maßeinheit für den Abrieb den Gewichtsverlust an. Er ist durch genaues Wiegen vor und nach dem Test leicht zu bestimmen. Wir stellen einige Versuchsreihen mit Moldano und Duroc an, bei denen der Gewichtsverlust durch Abwiegen bestimmt wurde. Es ergab sich, daß die Angabe des Gewichtsverlustes eine sehr große Streuung der Werte bewirkt. So zeigte zum Beispiel Moldano vier Tage nach der Abbildung eine größere Härte (kleineren Antrieb) als fünf Tage danach. Zum anderen konnten die gleichen Versuche nicht mit dem gleichen Ergebnis wiederholt werden.

Diese Ungenauigkeit hat u.E. mehrere Ursachen.

1. Die unterschiedliche Luftfeuchtigkeit des Labors von einem Tag zum anderen macht sich bei diesen geringen Werten von einigen mg (1-10 mg) schon bemerkbar.

2. Auch durch sehr vorsichtiges Handhaben der Prüfkörper mit einer durch weichen Kunststoff geschützten Pinzette wurden

kleinste Mengen des Materials mit entfernt, so daß das Ergebnis gefälscht wird.

3. Auch die mechanische Befestigung der Prüfkörper auf den Wagen bedingt einen Materialverlust.

Wir meinen dagegen, daß der Volumenverlust eine bessere Aussage über die Eignung eines Modellmaterials darstellt, da es wichtiger ist zu wissen, um wieviel der Modellstumpf sich beim Bearbeiten verändert als um wieviel er leichter geworden ist. Ferner wären bei der Angabe des Gewichtes als Maßstab der Abrasion das spezifische Gewicht, die Dichte und Porengröße zu berücksichtigen. Dies würde erst einen exakten Vergleich unterschiedlicher Materialien gewährleisten.

2.) Ergebnisse der Vorversuche und deren Auswertung

Die Ergebnisse der Vorversuche zeigen deutlich die Versuchsbedingungen für die Hauptversuche auf. Bei Vorversuch I und II kommt es weniger darauf an, genau die gemessenen Werte anzugeben, als vielmehr die gleiche Größenordnung zu benutzen. So wird eine Belastung von 100 g gewählt, aufgeteilt auf zwei 50 g Gewichte ober- und unterhalb der Probe. Die Geschwindigkeit der Abrasionsscheibe wird durch Zahnräder, die zwischen Getriebe und Scheibe eingeschaltet werden, so eingestellt, daß für 10 Umdrehungen eine Zeit von 161 sec verbraucht wird. So ergibt sich für den Scheibenumfang eine Geschwindigkeit von 359,65 mm/min oder etwa 6 mm/sec. Vorversuch III ergibt, daß fünf Umdrehungen ausreichend sind.

Die Eichkurven des Vorversuchs IV zeigen, daß zu Beginn der Tests die Schärfe der Scheiben sehr rasch abnimmt und im Bereich von 60 - 100 Testen bei Maldano und Kol Dur keine bemerkenswerte Schärfeminderung mehr eintritt. Bei Duroc beginnt dieser Bereich schon nach etwa 20 Versuchen. Alle Ergebnisse der Hauptversuche werden auf diese Bereiche zurückgerechnet, soweit sie nicht schon durch Scheiben aus diesem Bereich gewonnen sind. Durch diesen Umrechnungsprozeß werden auch die Laborbedingungen recht gut nachgeahmt, denn

es werden ja auch zum größten Teil nur gebrauchte Modelliermesser benutzt. Nach den MEISINGER INFORMATIONEN⁸⁾ ergibt sich, daß der Schärfeverlust der Hartmetallbohrer ein ähnliches Verhalten zeigt.

Tabelle zu Vorversuch III: Moldano (25/100), 4 Wochen
im Labor gelagert

Anzahl der Umdrehungen	Länge der Sehne	Mittelwert in mm	Tiefe
5	6,321 6,575	6,448	0,210
10	7,964 7,965	7,9645	0,310
20	9,807 10,013	9,910	0,500
40	11,943 12,370	12,1565	0,740
80	14,417 14,240	14,3285	1,040

abelle 1: Duroc (24/100), 5 Tage Trockenschrank 60°C, Eichkurve

Anzahl der Versuche	Breite	Mittelwert des Abriebspaltes mm	Länge	Mittelwert	Volumen mm ³
1	1,798 1,798 1,794	1,7967	5,021 4,993	5,007	0,75563
5	1,794 1,789 1,808	1,797	3,090 3,254	3,172	0,18981
10	1,789 1,796 1,808	1,7977	3,721 3,697	3,709	0,30745
15	1,804 1,787 1,803	1,798	2,479 2,540	2,5095	0,091586
20	1,799 1,786 1,762	1,7883	2,390 2,535	2,4625	0,086006
25	1,784 1,791 1,762	1,779	2,680 2,565	2,6225	0,105574
30	1,729 1,721 1,722	1,724	2,554 2,564	2,559	0,094552
35	1,770 1,772 1,768	1,770	2,579 2,529	2,554	0,098455
40	1,769 1,754 1,748	1,757	2,677 2,681	2,679	0,111294
45	1,775 1,768 1,782	1,775	2,629 2,488	2,5585	0,096904
50	1,704 1,726 1,734	1,7213	2,978 2,988	2,983	0,15223
55	1,700 1,714 1,706	1,7067	2,711 2,666	2,6885	0,11023
60	1,669 1,683 1,681	1,6777	2,455 2,338	2,3965	0,077058
65	1,704 1,703 1,692	1,6997	2,616 2,536	2,576	0,095874
70	1,689 1,685 1,700	1,6913	2,631 2,584	2,6075	0,098675

Tabelle 1: (Forts.)

Anzahl der Versuche	Breite	Mittelwert des Abriebspaltes mm	Länge	Mittelwert	Volumen mm ³
75	1,695 1,701 1,688	1,6947	2,667 2,589	2,628	0,10431
80	1,670 1,670 1,684	1,6747	2,713 2,560	2,6265	0,10446
85	1,705 1,718 1,707	1,710	2,705 2,664	2,6845	0,11136
90	1,694 1,703 1,686	1,6943	2,534 2,617	2,5755	0,09557
95	1,688 1,696 1,692	1,692	2,670 2,658	2,664	0,10854
100	1,798 1,816 1,816	1,810	2,614 2,587	2,6005	0,11324

Tabelle 2: Moldano (25/100), 5 Tge Trockenschrank 60°C, Eichkurve

Anzahl der Versuche	Breite	Mittelwert des Abriebspaltes mm	Länge	Mittelwert	Volumen mm ³
1	1,632 1,580 1,595	1,6023	7,262 7,194	7,228	2,0287
5	1,612 1,612 1,614	1,6127	5,858 5,773	5,3155	0,8133
10	1,608 1,601 1,611	1,6067	5,352 5,314	5,333	0,81858
15	1,610 1,623 1,610	1,6143	5,108 5,092	5,100	0,71583
20	1,604 1,612 1,608	1,608	5,176 5,016	5,096	0,71054
25	1,602 1,621 1,612	1,6117	5,098 5,080	5,089	0,71002
30	1,608 1,609 1,613	1,610	4,801 4,799	4,800	0,59565
35	1,615 1,605 1,608	1,6093	5,049 4,801	4,925	0,66621
40	1,616 1,611 1,618	1,615	4,154 4,049	4,1015	0,36988
45	1,610 1,621 1,609	1,6133	4,477 4,366	4,4215	0,46483
50	1,607 1,606 1,608	1,607	4,260 4,013	4,1365	0,37968
55	1,607 1,609 1,605	1,607	4,300 3,853	4,0765	0,36565
60	1,621 1,614 1,612	1,6157	4,088 4,006	4,047	0,35622
65	1,602 1,616 1,607	1,6083	4,108 3,991	4,0495	0,35918
70	1,606 1,611 1,604	1,607	3,773 3,769	3,771	0,28801

Tabelle 2: (Forts.)

Anzahl der Versuche	Breite	Mittelwert des Abriebspaltes mm	Länge	Mittelwert	Volumen mm ³
75	1,600	1,605	3,906	3,7895	0,29844
	1,608		3,673		
	1,607				
80	1,606	1,6173	3,947	3,7435	0,28323
	1,624		3,540		
	1,622				
85	1,623	1,6227	4,410	4,1225	0,38063
	1,625		3,835		
	1,620				
90	1,620	1,622	3,736	3,8825	0,31924
	1,623		3,029		
	1,623				
95	1,613	1,6137	4,068	3,936	0,32763
	1,614		3,804		
	1,614				
100	1,619	1,6207	3,913	3,8825	0,31809
	1,615		3,852		
	1,628				

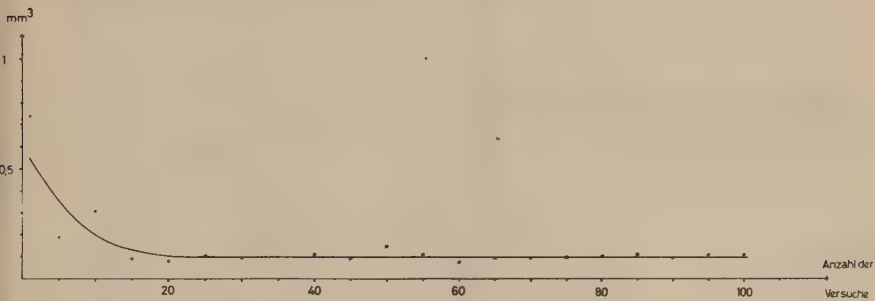
Tabelle 3: Kol Dur (2 Tr./lg), 5 Tage Trockenschrank 60°C, Eichkurve

Anzahl der Versuche	Breite	Mittelwert des Abriebpaltes	Länge	Mittelwert	Volumen
					3
1	1,684 1,696 1,637	1,6757	5,156 5,099	5,1275	0,75604
5	1,627 1,648 1,655	1,6433	5,056 5,946	5,501	0,91682
10	1,673 1,679 1,681	1,6777	4,974 4,708	4,841	0,63789
15	1,681 1,687 1,687	1,685	5,002 4,727	4,8645	0,64263
20	1,673 1,680 1,641	1,6647	4,807 4,305	4,556	0,52474
25	1,628 1,638 1,636	1,634	4,718 4,326	4,522	0,50634
30	1,641 1,637 1,642	1,640	4,474 3,851	4,1625	0,39622
35	1,631 1,640 1,635	1,6353	4,617 3,839	4,228	0,41526
40	1,635 1,640 1,637	1,6373	4,423 3,580	3,9515	0,33076
45	1,632 1,641 1,631	1,6347	4,298 3,129	3,7135	0,27816
50	1,637 1,637 1,635	1,6363	4,322 3,051	3,6865	0,28103
55	1,634 1,630 1,630	1,6313	4,299 2,960	3,6295	0,26152
60	1,639 1,635 1,632	1,6353	3,774 3,177	3,4755	0,22843
65	1,634 1,640 1,639	1,6377	3,847 3,498	3,6725	0,26905
70	1,631 1,634 1,626	1,6303	3,568 3,357	3,4625	0,22712

Tabelle 3: (Forts.)

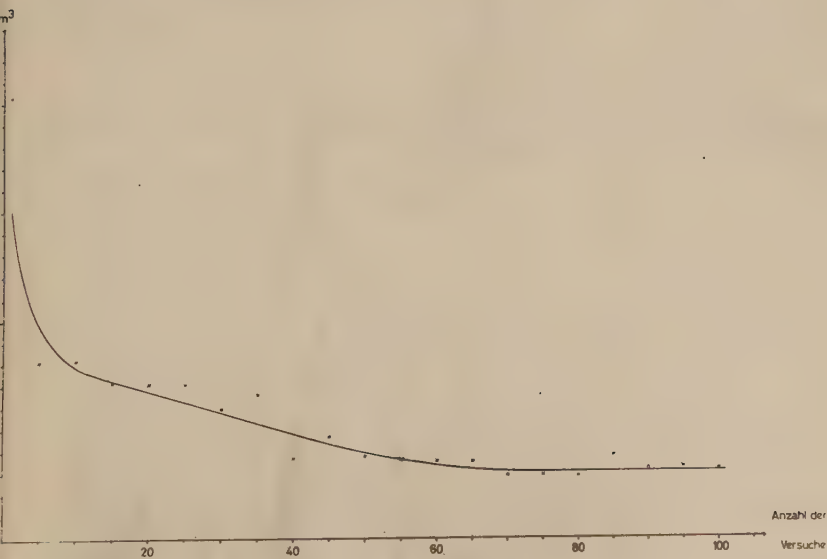
Anzahl der Versuche	Breite	Mittelwert des Abriebspaltes. <u>mm</u>	Länge	Mittelwert	Volumen <u>mm</u> ³
75	1,640	1,640	3,499	3,458	0,2464
	1,644		3,417		
	1,636				
80	1,638	1,6373	3,342	3,2855	0,19366
	1,637		3,229		
	1,637				
85	1,646	1,6433	3,328	3,235	0,1839
	1,633		3,142		
	1,651				
90	1,648	1,6457	3,414	3,236	0,18418
	1,644		3,058		
	1,645				
95	1,672	1,672	3,474	3,3685	0,21548
	1,672		3,263		
	1,672				
100	1,695	1,690	3,668	3,5555	0,25329
	1,685		3,443		
	1,690				

Graphische Darstellung 1 :



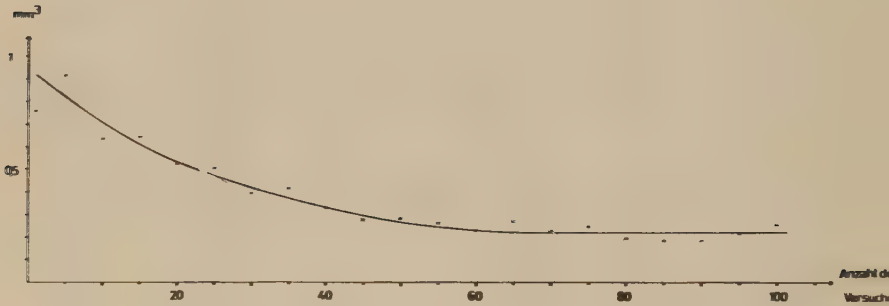
Eichkurve Duroc (24/100) Für drei Tage im Memmertschrank bei 60°C gelagert. (s. Tabelle 1)

Graphische Darstellung 2 :



Eichkurve Moldano (25/100) Für drei Tage im Memmertschrank bei 60°C gelagert. Auf der Ordinate ist das Abriebvolumen aufgetragen, auf der Abszisse die Anzahl der Versuche (gilt für graph.Darst. 1 - 3). (s. Tabelle 2)

Graphische Darstellung 3 :



Eichkurve Kol Dur (2 Tr/1 g) Für drei Tage im Memmertschrank bei 60° C gelagert (s. Tabelle 3).

III. Bestimmung der Abriebfestigkeit

1.) Material

a.) Liste der Materialien

Name	Hersteller	Stoffklasse	Mischungsverhältnis
Modellmaterialien			Pulver : Flüssigkeit
Moldano	Bayer	Hartgips	100 : 25
Duroc	Ramson & Randolph	Hartgips	100 : 24
Kul Dur	Kettenbach	Kunststoff + Metall	1 g : 2 Tropfen
Abdruckmassen			
Lastic 55	Kettenbach	Silikon	nach Vorschrift
Kerr	Kerr	Kompositions- masse	-----
Härterlösung			
Polystyrol		hochmolekul. aromatisch. Kohlenwasser- stoff	10 g Polystyrol in 90 g Butylacetat (TORESKOG ¹⁹⁾)

b.) Beschreibung der Materialien

Modellmaterialien

Hartgips

Das Grundmaterial des Hartgipses ist das Halbhydrat des Calciumsulfates. Beim Erhärten des Gipses wird das als Flüssigkeit hinzugefügte Wasser vom Gipspulver chemisch gebunden. Die Gipskörnerchen werden nach dem Anrühren mit Wasser durchsichtig und bilden ein Calciumsulfat-Dihydrat (FALCK-WEIKART²⁾). SCHOENBECK (nach FALCK²⁾) nimmt an, daß beim Aushärten dann das Dihydrat aus der mit $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ übersättigten Lösung als Gel ausgeschieden wird. Aus diesem Gel kristallisiert dann das Dihydrat unter Verfilzung der Kristallnadeln aus. Das überschüssige Wasser verdunstet im Laufe der Zeit, und es bleibt eine poröse Masse, der erhärtete Gips, übrig.

Duroc und Moldano werden getestet.

Kol Dur

Bei diesem Material, das uns die Firma Kettenbach freundlicherweise zur Verfügung gestellt hat, handelt es sich um ein Metallpulver, das durch Kunststoff gebunden wird. Die genaue Zusammensetzung ist uns nicht bekannt.

Abdruckmassen

Silikone

Silikone sind Verbindungen, deren mehr oder weniger lange Molekülketten abwechselnd aus Silicium - und Sauerstoffatomen bestehen, wobei die übrigen Valenzen der Siliciumatome vollständig oder mindestens zum Teil mit organischen Radikalen abgesättigt sind. Durch Wasserabspaltung in den Seitenketten kann eine Vernetzung der Moleküle erreicht werden. Silikone werden außer als Abdruckmittel in der Zahnheilkunde noch viel in der Technik verwandt als Lacke, wasserabstoßende Imprägniermittel, Schmierstoffe und Hydrauliköle. Als Abdruckmaterial wird Lastic 55 benutzt.

Kompositionsmassen

Kerr ist ein thermoplastisches Abdruckmaterial und gehört zu den Kompositionsabdruckmassen. Diese sind reversibel thermoplastisch. Bei Raum- und Mundtemperatur sind sie starr und fest. Durch Erhitzen auf 55°C bis 65°C (je nach Fabrikat verschieden) werden sie plastisch.

Härterlösung

Es sind bis heute viele Versuche unternommen worden, die Modelle nach dem Entfernen aus dem Abdruck zu härten. Denn durch die Abdruckmassen werden die Oberflächeneigenschaften zum Teil ungünstig beeinflusst. HOSODA und Mitarbeiter⁵⁾ entwickelten eine organische Härterlösung, mit der sie drei Stunden nach der Abbindung eine mehr als dreifache Härte erzielten. Dadurch wurde der Einfluß der elastischen Abdruckmassen (Hydrokolloide) total eliminiert und sogar ein den ursprünglichen Härtegrad übertreffender Wert gefunden. Sie benutzten eine 10 %ige Polystyrollösung in Amylacetat. Neuere Untersuchungen von TORESKOG, PHILLIPS und SCHNELL²⁰⁾ ergaben mit

einer 10 %igen Polystyrollösung in Butylacetat, daß diese Lösung kaum einen Einfluß auf die Härte, wohl aber auf den Abrasionswiderstand hat.

In der vorliegenden Arbeit werden zwei Polystyrole benutzt, die einen unterschiedlichen Polymerisationsgrad aufweisen.

- a.) Polystyrol 143 E; hierbei handelt es sich um eine leicht verarbeitbare Spritzgußmasse, die niedriger molekular ist als
- b.) Polystyrol 168 N, die wärmebeständig ist.

Beide Marken wurden uns freundlicherweise von BASF Ludwigs-hafen zur Verfügung gestellt.

2.) Methodisches Vorgehen

- a.) Herstellung der Prüfkörper
-) Allgemein

Um immer gleichartige Proben zu erhalten, muß man einige Vorsichtsmaßnahmen treffen.

1. Alle Materialien werden aus einer Dose genommen, denn gerade bei den Gipsen können verschiedene Sendungen eine unterschiedliche Partikelgröße besitzen.
2. Vor der Entnahme der Proben wird kräftig geschüttelt, um eventuell Sedimentation in der Büchse zum Verschwinden zu bringen.
3. Die Dosen müssen immer geschlossen bleiben, damit aus der Luft keine Feuchtigkeit aufgenommen wird.
4. Genaues Abwiegen der Proben, möglichst für mehrere Prüfkörper zugleich; so wird der Meßfehler beim Wiegen äußerst gering gehalten.
5. Es wird nur abgestandenes Leitungswasser verwendet.
6. Bestimmung der Wassermenge mit der Pipette.
7. Der Gipsnapf wird vorher angefeuchtet und dann trocken gewischt. Dadurch wird die Absorption von Wasser durch den Gipsnapf vermieden.
8. Sieben des Materials während einer Zeitspanne von etwa 20 - 30 sec in das Wasser.
9. Der Gipsbrei wird mit der Hand durchgespatelt für 30 sec auf einem Elektrovibrator (Porex, Renfert) bei Stufe 5.

10. Der Brei wird sofort in die vorher vorbereiteten Formen eingerüttelt (Vibrator Stufe 5).
11. Abdecken aller eingerüttelten Proben mit einer Glasplatte für 30 min.
12. Danach Entfernen aus der Form und weitere Behandlung.

Es wurde eine Vorrichtung geschaffen, die es erlaubt, gleichzeitig drei Prüfkörper anzufertigen (s. Abb. 8).

Es handelt sich hierbei um eine auseinandernehmbare, rechteckige Form, zweimal quer unterteilt. Als Boden dient entweder eine Glas-, Kerr- oder Lastic 55-Platte; diese sind austauschbar. Wenn nicht anders angegeben, wird immer Glas als Boden verwendet. Es entstehen Proben von etwa folgenden Ausmaßen:

7 cm x 3 cm x 0,5 cm.

Als Prüfoberfläche wird die Seite, die dem Boden aufliegt, verwandt.

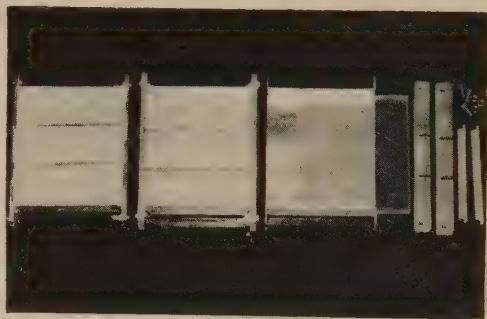


Abb. 8

Form zur Herstellung der Proben
gefüllt leer zerlegt

Speziell für die einzelnen Materialien.

Das vom Hersteller angegebene Mischungsverhältnis Wasser : Pulver wie 24 : 100 wird für Duroc gebraucht, denn hier garantiert er optimale physikalische Eigenschaften eines aus diesem Material hergestellten Stumpfes. Auch FÜRER³⁾ kommt (bezüglich der Eigenschaften: Porosität, Oberflächenrauigkeit und Kristallaufbau) zu einem ähnlichen Ergebnis. Sie erzielte die besten Resultate mit einem Mischungsverhältnis von 1 : 5 (20 / 100), wenn man die Werte der Mischung 1 : 6 außer acht läßt, da sich dieser krümelige Brei nicht mehr als Modellmaterial verwenden läßt.

Moldano wird im Verhältnis Wasser : Pulver wie 1 : 4 (25/100) angerührt. Der Hersteller gibt keine exakten Werte an, so daß wir uns auf die Angaben von FÜRER³⁾ stützen.

Bei dem von Kettenbach entwickelten Modellmaterial Kol Dur gibt es noch keine genauen Angaben über das beste Mischungsverhältnis. So wird eine Verdünnungsreihe angelegt: Pro g Pulver 1,5; 2; 2,5 und 3 Tropfen Härterlösung. Da bei Raumtemperatur die Masse zum Aushärten etwa 20 Stunden und länger, je nach Temperatur, braucht, wird die Härtung sofort nach Einrütteln im Trockenschrank für 60 Minuten vorgenommen. Je eine Verdünnungsreihe wird im Memmertschrank für 60 Min. bei 60° C, 70° C und 80° C ausgehärtet. Dies geht natürlich nur in den Fällen wo Glas oder Lastic 55 die Oberfläche der Proben bedecken. Bei thermoplastischen Abdruckmassen (Kerr) wird so lange gewartet, bis die Probe eine solche große Härte besitzt, so daß sie sich nicht mehr verziehen kann, wenn die Abdruckmasse flüssig wird. Dieser Zeitpunkt ist erreicht, wenn die Masse gerade eben noch mit dem Fingernagel geritzt werden kann.

3.) Ausführung der Hauptversuche

Alle Prüfkörper werden nach den in der Beschreibung der Methodik aufgeführten Richtlinien angefertigt. Nur Kol Dur bildet eine Ausnahme. Die Formen ermöglichen es, daß jeweils drei Prüfkörper unter gleichen Bedingungen hergestellt werden können. Auf jedem wird dann ein Test ausgeführt. Die Breite des Abriebspaltes wird an drei Stellen gemessen (an beiden Enden und in der Mitte), die Länge auf beiden Seiten je einmal. Aus den erhaltenen Werten wird dann der Mittelwert bestimmt, jeweils das Volumen berechnet und dann erst der Mittelwert der drei Volumina ermittelt. Dadurch wird der Meß- und Berechnungsfehler möglichst klein gehalten.

Eigene Untersuchungen:

1. Da für Kol Dur noch keine Angaben für das beste Mischungsverhältnis gemacht wurden, legten wir eine Verdünnungsreihe an. Pro g Pulver 1,5; 2; 2,5; und 3 Tropfen Flüssigkeit. Das Verhältnis 1 Tropfen pro g Pulver ist krümelig und läßt sich nicht mehr verarbeiten; bei 3,5 Tropfen auf 1 g Pulver beginnt das Pulver zu sedimentieren. Aus diesen Gründen sind diese schon von vornherein auszuschneiden.

Angemischt wird in einem mitgelieferten Becher und durchgespatelt für 30 sec.

Es werden die Prüfkörper der unterschiedlichen Mischungen in die Form mit einem Anrührspatel eingefüllt, wobei durch leises Klopfen des Spatels das Ausfließen der Masse noch unterstützt wird. Als Boden der Form dient eine Glasplatte. Eingerüttelt wird nicht, da die Gefahr der Sedimentation zu groß ist. Das gleiche gilt für das Zentrifugieren. Nach vollständiger Füllung der Formen werden die Proben mit einer Glasplatte abgedeckt und für eine Stunde zum Aushärten in den Memmertschrank gebracht. Drei Serien werden mit unterschiedlicher Temperatur behandelt, jeweils für eine Stunde 60° C, 70° C und 80° C. Die Versuche wurden zu verschiedenen Zeiten nach dem Anrühren der Mischung durchgeführt. S. Tabellen 4 - 15, graphische Darstellung 4 - 6.

Um die Übersichtlichkeit der Arbeit nicht zu gefährden, werden gemessene Werte im Anhang als Tabellen mit der Bezeichnung a zusammengefaßt. Nur die korrigierten Werte kommen im Text als Tabellen vor; z.B. Tabelle 5 bedeutet: Tabelle 5 im Text und Tabelle 5a im Anhang.

Ergebnisse:

Die beste Verarbeitungsmöglichkeit und die besten Eigenschaften bietet das Verhältnis 2 Tropfen auf 1 g Pulver und für eine Stunde bei 70° C im Memmertschrank. Alle weiteren Versuche werden unter diesen Bedingungen ausgeführt.

Alle Werte der Tabellen im Text sind bezogen auf den Bereich der Eichung, wo sich die Schärfe der Scheibe praktisch nicht mehr ändert.

Tabelle 4: Kol Dur (1,5 Tr./lg), 1 Stunde Trockenschrank 60°C

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b	c	
			mm ³	
1	1,8998	1,8223	1,7739	1,8320
2	0,94674	1,492	1,1919	1,2102
3	1,3975	0,82152	0,69515	0,97139
18	0,56685	0,60791	0,66582	0,61353
24	0,5489	0,57801	0,42111	0,51601
48	0,32906	0,29420	0,30697	0,31674
72	0,22957	0,23506	0,35869	0,27444

Tabelle 5: Kol Dur (2 Tr./lg), 1 Stunde Trockenschrank 60°C

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b	c	
			mm ³	
1	1,1173	1,1350	0,68787	0,98006
2	0,68842	0,82676	0,68363	0,73294
17	0,45355	0,54339	0,61736	0,53810
24	0,30518	0,24268	0,32253	0,29013
48	0,17809	0,19074	0,24078	0,20320
72	0,19136	0,17868	0,19485	0,18830

Tabelle 6: Kol Dur (2,5 Tr./lg), 1 Stunde Trockenschrank 60°C

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
1	1,2756	1,3343	1,4701	1,3600
2	0,81682	0,92592	0,62807	0,79027
17	0,67518	0,6318	0,63077	0,64592
24	0,52045	0,53973	0,56401	0,54140
48	0,27761	0,24473	0,24106	0,25447
72	0,33169	0,21439	0,22317	0,25842

Tabelle 7: Kol Dur (3 Tr./lg), 1 Stunde Trockenschrank 60°C

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
1	3,4058	2,1739	2,126	2,5686
2	1,8476	1,4727	1,1733	1,4979
17	0,84720	0,80828	0,68751	0,78100
24	0,6374	0,57914	0,49848	0,57167
48	0,40577	0,37971	0,36376	0,38308
72	0,38863	0,37375	0,44617	0,40252

Tabelle 8: Kol Dur (1,5 Tr./lg), 1 Stunde Trockenschrank 70°C

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b	c mm ³	
1	0,61981	0,47478	0,31987	0,47149
2	0,35985	0,39545	0,54715	0,43415
4	0,382	0,31492	0,32668	0,34120
7	0,23525	0,33809	0,39932	0,32422
24	0,3237	0,31596	0,28112	0,30693
48	0,22568	0,1799	0,19919	0,20159

Tabelle 9: Kol Dur (2 Tr./lg), 1 Stunde Trockenschrank 70°C

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b	c mm ³	
1	0,68188	0,65 924	0,69029	0,67714
2	0,60273	0,55148	0,66199	0,60540
4	0,67144	0,19037	0,46432	0,44204
7	0,40258	0,53107	0,36617	0,43327
24	0,33602	0,28532	0,31682	0,31272
48	0,19889	0,18607	0,2035	0,19615

Tabelle 10: Kol Dur (2,5 Tr./lg), 1 Stunde Trockenschrank 70°C

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
1	0,95796	0,8294	0,93358	0,90698
2	0,94144	1,0674	0,96306	0,99063
4	0,8045	0,91494	0,67307	0,7975
7	0,65933	0,66414	0,66544	0,66297
24	0,62416	0,57855	0,60104	0,60125
48	0,51764	0,35283	0,33415	0,40154

Tabelle 11: Kol Dur (3 Tr./lg), 1 Stunde Trockenschrank 70°C

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
1	1,9553	1,6131	2,049	1,8725
2	1,2607	1,4745	1,5883	1,4412
4	1,3085	1,3366	1,2616	1,3022
8	0,88236	0,9321	0,91254	0,90900
24	0,6362	0,61714	0,63164	0,62833
48	0,48935	0,43373	0,45196	0,45196

Tabelle 12: Kol Dur (1,5 Tr./lg), 1 Stunde Trockenschrank 80°C

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b	c	
		mm ³		
2	0,22565	0,22739	0,1961	0,21638
5	0,18551	0,22331	0,19557	0,20146
24	0,20733	0,18364	0,15688	0,18262

Tabelle 13: Kol Dur (2 Tr./lg), 1 Stunde Trockenschrank 80°C

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b	c	
		mm ³		
2	0,50905	0,43363	0,35749	0,43339
5	0,3162	0,54988	0,34125	0,40244
24	0,38216	0,28069	0,26816	0,31034

Tabelle 14: Kol Dur (2,5 Tr./lg), 1 Stunde Trockenschrank 80°C

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b	c	
		mm ³		
2	1,1623	1,1754	1,0726	1,1368
5	0,81246	0,6977	0,74928	0,75315
24	0,50971	0,47758	0,43074	0,47268

Tabelle 15: Kol Dur (3 Tr./lg), 1 Stunde Trockenschrank 80°C

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b	c	
		mm ³		
2	1,5009	1,0515	1,0565	1,2030
5	0,61181	0,652	0,71782	0,66054
24	0,3854	0,47973	0,52032	0,46182

Graph- Darstellung 4: (rechts)

Kol Dur gehärtet bei 60° C für 1 Std.
im Memmertschrank.

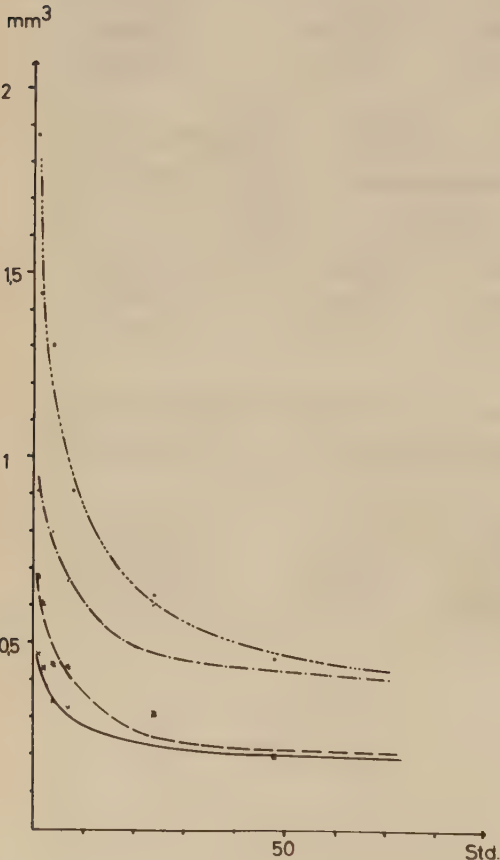
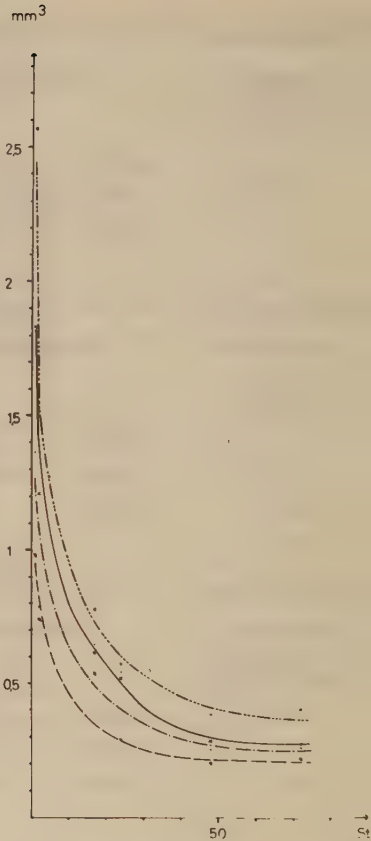
Kol Dur 1,5 Tr/ 1 g x ——— x

Kol Dur 2 Tr/ 1 g x - - - - x

Kol Dur 2,5 Tr/ 1 g . - . - . - .

Kol Dur 3 Tr/ 1 g o - - - - - o

Auf der Ordinate ist das Abriebvolumen in mm^3 aufgetragen; auf der Abszisse die Zeit nach dem Anrühren in Std.
(Dies gilt für alle folgenden graph. Darstellungen) (s. Tabellen 4 - 7).



Graph. Darstellung 5: (links)

Kol Dur gehärtet bei 70° C
für 1 Std. im Memmertschrank.

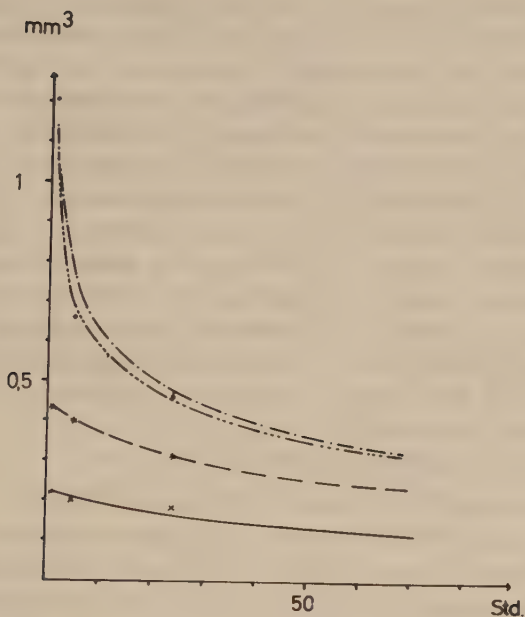
Kol Dur 1,5 Tr/1gx ——— x (spröd)

" 2 Tr/1gx - - - x

" 2,5 Tr/1g. - . - .

" 3 Tr/1go - - - - - o

s. Tabellen 8 - 11



Graph. Darstellung 6:

Kol Dur gehärtet bei 80° C für 1 Stunde im Memmertschrank.

Kol Dur 1,5 Tr/ 1g x———x (spröde u. rissig)

" 2 Tr/ 1g x- - - - - x

" 2,5 Tr/ 1g ●-.-.-.-.-●

" 3 Tr/ 1g o-...-...-o

s. Tabellen 12 - 15

2. Um den Einfluß der Lagerzeit auf die Abrasionsfestigkeit zu bestimmen, werden alle Versuche zu verschiedenen Zeiten nach dem Anrühren der zu prüfenden Materialien durchgeführt. Die Frage inwieweit die Luftfeuchtigkeit und Raumtemperatur die Abrasionsfestigkeit beeinträchtigt, kann bestimmt werden, durch Aufbewahren der Prüfkörper im Memmertschrank für die ganze Zeit der Versuche bei 60°C . Getestet werden die beiden Modellgipse Moldano und Duroc. Kol Dur wird durch lange Lagerung im Trockenschrank bei 60°C spröde und brüchig. Daher verzichten wir auf die Ergebnisse bei diesem Material, da sie sehr ungenau werden. Alle Materialien werden auf eine Glasplatte aufgetragen, einmal im Memmertschrank und zum Vergleich im Labor mit seiner schwankenden Luftfeuchtigkeit und Raumtemperatur aufbewahrt.

s. Tabellen 16 - 19, graph. Darstellungen 7 - 8.

3. Da die Modellmaterialien beim Aushärten mit den Oberflächen einen engen Kontakt zu den Abdruckmassen haben, drängt sich die Frage auf, ob diese nicht einen ungünstigen Einfluß auf die Oberflächengüte und damit auch auf dem Abrasionswiderstand besitzen. (PHILLIPS und ITO¹³⁾ haben den Einfluß der Hydrokolloide untersucht). Aus diesem Grund wird die Glasplatte ausgewechselt durch Platten der beiden in unserer Klinik gebräuchlichsten Abdruckmassen Lastic 55 und Kerr.

s. Tabellen 20 - 25 und graph. Darstellungen 9 - 10.

4. In der Literatur sind viele Angaben gemacht worden, daß das Einlüften unter Vakuum einen günstigen Einfluß auf die Modelleigenschaften ausübt. Für Einbettmassen hat PRENZ¹³⁾ eine Härtesteigerung nach Brinell von 72,7 % bei Artikast und 97,7 % bei Expansit gefunden. Wir benutzen bei der folgenden Serie das von JANKÉ⁶⁾ modifizierte Vakulit-Gerät der Firma Pfeiffer.

Tabelle 16: Moldano (25/100), Glas, gelagert im Labor

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
1	0,42335	0,61124	0,57771	0,53743
2	0,61037	0,56694	0,58626	0,58786
4	0,39795	0,37639	0,45738	0,41057
7	0,35435	0,359	0,38111	0,36482
24	0,32858	0,34736	0,35081	0,34225
48	0,3381	0,37276	0,35022	0,35369
72	0,32621	0,35145	0,38058	0,35275
120	0,23312	0,28759	0,30723	0,27599
144	0,25438	0,32356	0,32753	0,30182
168	0,32418	0,39053	0,34358	0,35276
192	0,32623	0,42213	0,39768	0,38201
216	0,36289	0,39963	0,31814	0,36022
240	0,29399	0,26215	0,31215	0,28976

Tabelle 17: Duroc (24/100), Glas, gelagert im Labor

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
1	0,21954	0,31375	0,24002	0,25777
2	0,13241	0,13360	0,13401	0,13334
4	0,13298	0,13881	0,12671	0,13287
7	0,12943	0,14506	0,11812	0,13087
24	0,13052	0,09393	0,11052	0,11166
48	0,12248	0,08337	0,13160	0,11248
72	0,09832	0,086788	0,10712	0,097409
120	0,10453	0,085644	0,087366	0,092513
144	0,088406	0,091088	0,10234	0,093945
168	0,075375	0,099158	0,10433	0,092954
192	0,071872	0,097180	0,095738	0,08826
216	0,077122	0,086244	0,10455	0,089305
240	0,08143	0,10924	0,10952	0,10006

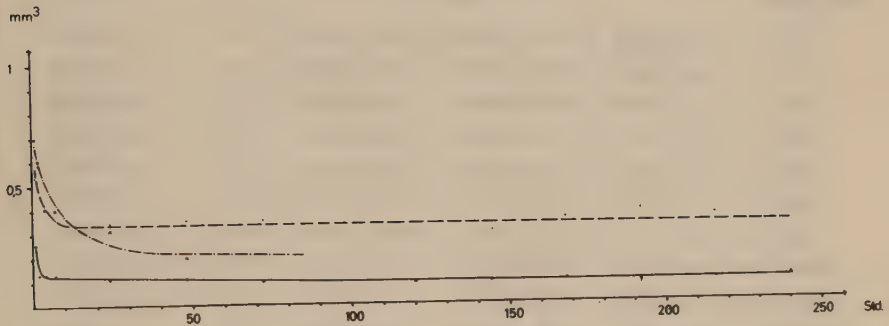
Tabelle 18: Moldano (25/100), Trockenschrank 60°C

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b	c	
			mm ³	
1	0,41884	0,49809	0,45553	0,45749
2	0,34033	0,3087	0,33897	0,32933
4	0,27351	0,2922	0,29887	0,28819
7	0,28374	0,29689	0,33721	0,30595
24	0,23395	0,27624	0,29284	0,26768
48	0,31736	0,28197	0,26121	0,28685
72	0,19474	0,23037	0,23037	0,21849
120	0,19777	0,23119	0,21079	0,21325
144	0,15825	0,24381	0,19555	0,19920
168	0,25002	0,26897	0,1929	0,23731
192	0,24871	0,25548	0,28292	0,26237
216	0,25307	0,20416	0,26014	0,23912
240	0,26501	0,2162	0,43059	0,30393

Tabelle 19: Duroc (24/100), Trockenschrank 60°C

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b	c	
			mm ³	
1	0,18027	0,17457	0,16578	0,17354
2	0,13028	0,11790	0,12590	0,12469
4	0,11476	0,12428	0,13080	0,12328
7	0,10395	0,09998	0,11433	0,10609
24	0,10233	0,098946	0,11187	0,104382
48	0,10178	0,11559	0,096932	0,104767
72	0,087588	0,10029	0,12648	0,104786
120	0,11239	0,10756	0,12049	0,11348
144	0,11729	0,11239	0,11439	0,11469
168	0,12663	0,10048	0,10465	0,11059
192	0,1192	0,10729	0,10185	0,10945
216	0,12612	0,11156	0,09629	0,11132
240	0,15514	0,12363	0,10364	0,12747

Graph. Darstellung 7:



Proben, gerüttelt auf Glas und im Labor gelagert.

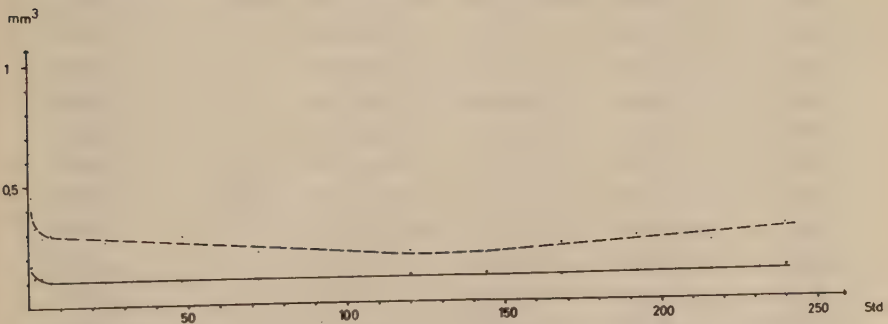
Moldano (25 / 100) . - - - - - (s. Tabelle 16)

Duroc (24 / 100) o ———— o (s. Tabelle 17)

Kol Dur (2 Tr/1g) x - - - - - x (s. Tabelle 9)

für 1 Stunde im Memmertschrank bei 70° C.

Graph. Darstellung 8:



Proben gerüttelt auf Glas und gelagert im Memmertschrank
für die Zeit des Versuches bei 60° C.

Moldano (25 / 100) . - - - - - (s. Tabelle 19)

Duroc (25 / 100) o ———— o (s. Tabelle 18)

Tabelle 20: Moldano (25/100), gerüttelt auf Kerr

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
1	0,82568	0,63349	0,72663	0,72860
2	0,57631	0,57366	0,42593	0,52530
4	0,58506	0,3469	0,35858	0,43018
7	0,3267	0,23694	0,27154	0,27839
24	0,25437	0,23156	0,28967	0,25853
48	0,2670	0,24276	0,24496	0,25157
96	0,21293	0,2881	0,2408	0,24728
120	0,21522	0,23215	0,36016	0,26918
144	0,21608	0,21582	0,26915	0,23368
168	0,2343	0,23481	0,43647	0,30186
192	0,21524	0,21495	0,34008	0,25676
216	0,21443	0,19553	0,22305	0,21100
240	0,21458	0,21832	0,28043	0,23778

Tabelle 21: Duroc (24/100), gerüttelt auf Kerr

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
1	0,78253	0,71205	0,53061	0,67506
2	0,39745	0,24332	0,34336	0,32804
4	0,22242	0,16176	0,15339	0,17922
7	0,13192	0,12818	0,18389	0,14800
24	0,10262	0,084563	0,09308	0,093421
48	0,11186	0,12145	0,13476	0,12269
96	0,14356	0,13293	0,14245	0,13965
120	0,12288	0,12967	0,14301	0,13185
144	0,11606	0,12174	0,13261	0,12347
168	0,15934	0,13646	0,088724	0,128175
192	0,16041	0,13164	0,09106	0,12770
216	0,14164	0,11916	0,10678	0,12253
240	0,13766	0,13578	0,12115	0,13153

Tabelle 22: Moldano (25/100), gerüttelt auf Lastic 55

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
1	0,70425	0,37039	0,80840	0,62768
2	0,6619	0,35992	0,77623	0,59968
4	0,6337	0,62551	0,66893	0,64271
7	0,6134	0,60058	0,67026	0,62808
24	0,6209	0,69977	0,47732	0,59933
48	0,65564	0,59490	0,49948	0,58334
72	0,62043	0,58896	0,5228	0,57773
96	0,52184	0,44337	0,53765	0,50099
144	0,54211	0,65118	0,46671	0,55333
168	0,45649	0,62649	0,54438	0,54245
192	0,52891	0,48118	0,64389	0,55133
216	0,71002	0,61543	0,58624	0,63733
240	0,54698	0,45638	0,558	0,52045

Tabelle 23: Duroc (24/100), gerüttelt auf Lastic 55

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
1	0,2298	0,30701	0,24902	0,26194
2	0,18812	0,20405	0,24833	0,21350
4	0,26769	0,30394	0,32912	0,30025
7	0,2027	0,17367	0,16802	0,18146
24	0,1896	0,23732	0,15693	0,19462
48	0,23069	0,23379	0,17976	0,21475
72	0,21314	0,26741	0,17342	0,21799
96	0,17963	0,26559	0,19538	0,21353
144	0,17208	0,22485	0,14189	0,17961
168	0,14039	0,085336	0,19395	0,139892
192	0,22367	0,25331	0,25342	0,24347
216	0,16536	0,11074	0,25662	0,17757
240	0,1672	0,19569	0,1781	0,18033

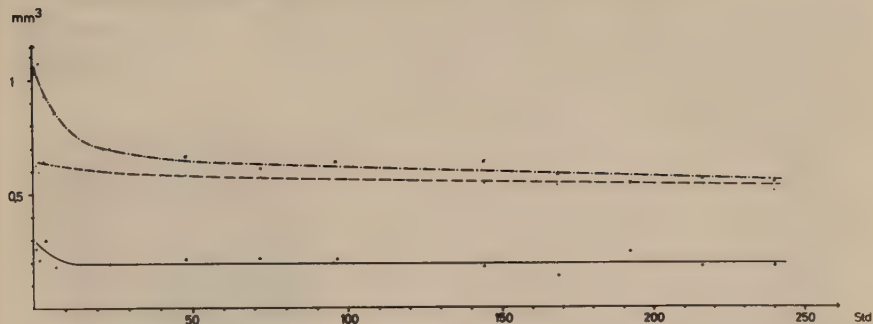
Tabelle 24: Kol Dur (2 Tr./lg), 1 Stunde Trockenschrank 70°C
auf Kerr gegossen

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
3	0,81728	1,1197	1,0894	1,34213
5	0,9418	1,1153	0,8524	0,96983
24	0,74478	0,77658	0,70528	0,74221
48	0,7054	0,70565	0,67764	0,69623
72	0,68215	0,67032	0,6719	0,67479
96	0,66504	0,7092	0,6716	0,68195
144	0,67302	0,58229	0,59423	0,64985
168	0,67166	0,64356	0,64103	0,65175
192	0,67058	0,63304	0,56946	0,62436
216	0,55303	0,6086	0,60359	0,58841
240	0,62481	0,65127	0,64216	0,63943

Tabelle 25: Kol Dur (2 Tr./lg), 1 Stunde Trockenschrank 70°C
auf Lastic 55 gegossen

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
1	0,92318	1,0435	1,1295	1,03206
2	1,1046	1,0059	1,4008	1,1705
4	0,85348	0,91476	1,0158	0,92801
7	1,0122	0,81562	0,74598	0,85793
24	0,68197	0,66191	0,75322	0,69903
48	0,66428	0,6721	0,6636	0,66666
72	0,62713	0,58244	0,63071	0,61343
96	0,6413	0,66004	0,6308	0,64405
144	0,68207	0,65219	0,59989	0,64472
168	0,61049	0,61136	0,53924	0,58703
192	0,58851	0,58941	0,47903	0,55232
216	0,5577	0,59824	0,56263	0,57286
240	0,57543	0,58289	0,51813	0,55882

Graph. Darstellung 9:



Proben gerüttelt auf Lastic 55, gelagert im Labor. Ein Vergleich aller drei Materialien.

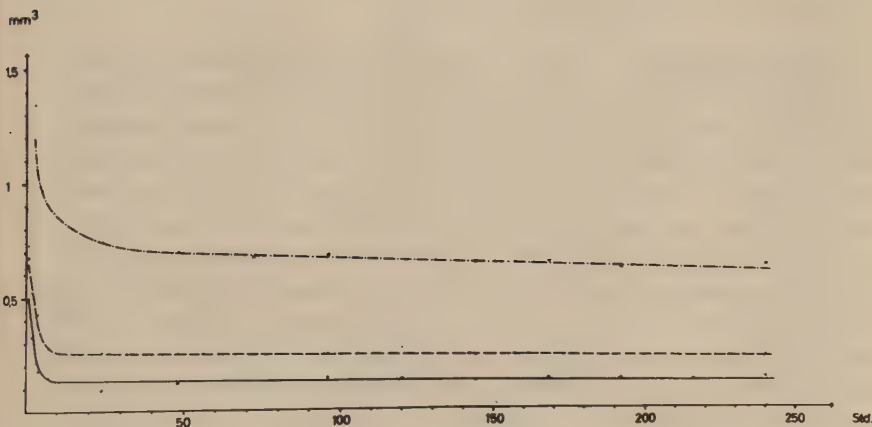
Moldano (25 / 100) .-.-.-.-. (s. Tabelle 22)

Duroc (24 / 100) o-----o (s. Tabelle 23)

Kol Dur (2 Tr/1g) x-.-.-.-x (s. Tabelle 25)

für 1 Stunde im Memmertschrank bei 70° C.

Graph. Darstellung 10:



Proben gerüttelt auf Kerr, gelagert im Labor. Ein Vergleich aller drei Materialien.

Moldano (25 / 100) .-.-.-.-. (s. Tabelle 20)

Duroc (24 / 100) o-----o (s. Tabelle 21)

Kol Dur (2 Tr/1g) x-.-.-.-x (s. Tabelle 24) für 1 Std. im Memmertschrank bei 70° C.

Hiermit kann durch die besondere Umarbeitung der Plastickglocke, getrennt Flüssigkeit und Pulver in das Mischgefäß gegeben werden und mit einem Rührspatel die Mischung angerührt werden. S. Abb. 9.

Bei Duroc und Moldano wird für 30 sec unter Vakuum angerührt (gemessen von dem Zeitpunkt, wo alles Material im Mischgefäß vorhanden ist). Danach werden die Formen auf dem Elektrovibrator gerüttelt und so behandelt wie oben besprochen.

Kol Dur wird erst für 30 sec in dem mitgelieferten Mischbecher durchgespatelt, da das Rührwerk nicht die gewünschte Durchmischung von Pulver und Flüssigkeit erreicht, dann für 30 sec unter Vakuum entlüftet.
s. Tabellen 26-28, graph.Darst.11



Abb. 9

Vakulit - Gerät

5. Nachdem ÖSTLUND⁹⁾ 1955 mit seiner Zentrifugiermethode eine Steigerung der Brinellhärte von Hartgips um 80 % (27,1 Brinell-Einheiten) erzielte, sind viele Versuche unternommen worden, diese Materialverarbeitung auch im Laborbetrieb einzuführen. Kombinierte er seine neue Methode noch mit dem Entlüften, so erreichte er eine noch höhere Härte (35,8 Brinell-Einheiten). Da durch das Zentrifugieren die Zahl der Luftbläschen auf der Oberfläche und im Inneren der Prüfkörper abnehmen, muß auch ein positiver Einfluß auf die Abrasionsfestigkeit bestehen. Da FÜRER³⁾ in ihrer Arbeit bei der Kombination von Vakuumbehandlung mit dem Zentrifugieren keine Abnahme der Porosität, eher einen durch den Zeitverlust beim Evakuieren bedingten negativen Einfluß auf diese Eigenschaft feststellen konnte, zentrifugieren wir ohne vorher unter Vakuum zu entlüften.

Tabelle 26: Moldano (25/100), unter Vakuum angerührt

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
1	1,1143	0,71388	0,83264	0,88082
3	0,63939	0,56417	0,57541	0,59299
6	0,64359	0,63413	0,71915	0,66562
24	0,43159	0,46844	0,29716	0,39906
48	0,35228	0,35165	0,38288	0,36227
72	0,30757	0,44698	0,71256	0,48904
96	0,19169	0,29241	0,34044	0,27485
120	0,18698	0,53213	0,18651	0,30187
144	0,14199	0,36958	0,37083	0,29747
168	0,15167	0,50061	0,35314	0,33514
216	0,16661	0,57884	0,36292	0,36946
240	0,22678	0,20365	0,21351	0,31465

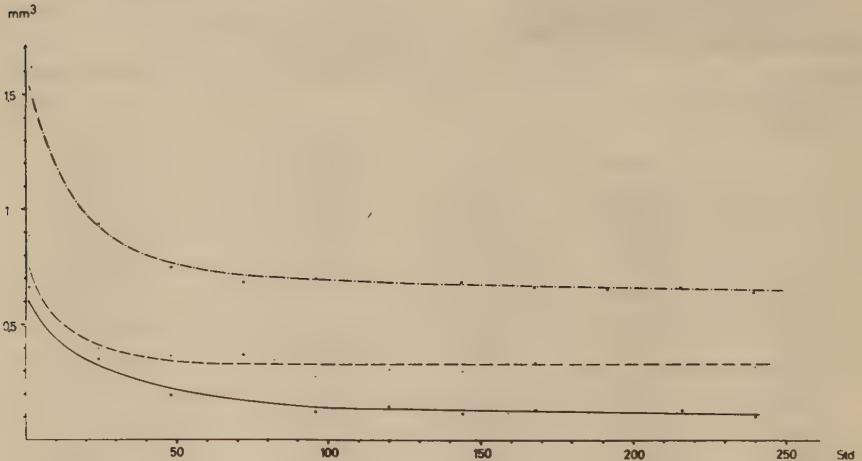
Tabelle 27: Duroc (24/100), unter Vakuum angerührt

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
1	0,82376	0,76287	0,49884	0,66182
3	0,50352	0,58471	0,43809	0,50877
6	0,39986	0,52220	0,41885	0,44697
24	0,3162	0,42054	0,3155	0,35075
48	0,18953	0,19430	0,19659	0,19347
72	0,28750	0,40519	0,40034	0,36434
96	0,12404	0,12921	0,10986	0,12104
120	0,12485	0,12398	0,18352	0,14412
144	0,11261	0,12005	0,11803	0,11356
168	0,12307	0,15299	0,11216	0,12941
216	0,1414	0,13318	0,10726	0,12728
240	0,094838	0,098570	0,10730	0,100236

Tabelle 28: Kol Dur (2 Tr./lg), 1 Stunde Trockenschrank 70°C unter Vakuum entlüftet.

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b	c mm ³	
2	1,584	1,6426	1,6277	1,6181
4	1,1083	1,3505	1,4035	1,2874
24	1,0534	0,85344	0,90928	0,93871
48	0,7242	0,76415	0,75015	0,74617
72	0,73103	0,61349	0,70028	0,68160
96	0,64407	0,70891	0,74665	0,69988
144	0,6711	0,68347	0,69261	0,68206
168	0,62754	0,6633	0,68927	0,66004
192	0,61971	0,67077	0,65902	0,64983
216	0,62756	0,68907	0,6589	0,65851
240	0,63093	0,64913	0,63419	0,63808

Graph. Darstellung 11:



Proben unter Vakuum angerührt, gerüttelt auf Glas und im Labor gelagert. Kol Dur wird zuerst für 30 sec durchgespatelt, dann für 30 sec unter Vakuum entlüftet. Ein Vergleich aller drei Materialie

Moldano (25 / 100)	(s. Tabelle 26)
Duroc (24 / 100)	(s. Tabelle 27)
Kol Dur (2Tr/ lg)	(s. Tabelle 28) für 1 Std. im Memmertschrank bei 70°C.

Wir zentrifugieren auf kleine, runde Glasscheiben. Den Rand bilden kleine Plastikringe, da diese nicht das Wasser aus den in die Form eingeschleuderten Proben absorbieren.

Als Zentrifuge dient ein Poliermotor, auf dessen Spindel eine Leichtmetallscheibe mit breitem Rand aufgesetzt ist. Auf dem Innenrand befinden sich zwei Klötzchen aus dem gleichen Metall. Diese sind mit einer Bohrung versehen, in die genau zwei Messingmuffeln passen. Die Vorrichtungen zur Aufnahme der Muffeln liegen genau gegenüber, damit das



Zentrifugiergerät

Abb. 10

rotierende System gleichmäßig ausgewuchtet ist. Dadurch liegen die eingesetzten Muffeln radial und parallel zur Scheibe. Die Muffeln haben einen herausnehmbaren Boden, und am oberen Ende kann mit einer Feststellschraube ein Messingtrichter befestigt werden, in den das Material eingefüllt wird.s.Abb.10.

Als Testmaterial werden Duroc und Moldano verwendet. Durch Vorversuche hat sich ergeben, daß Moldano mit dem Mischungsverhältnis 100 : 25 (Pulver / Wasser) mit den uns zur Verfügung stehenden Trichteröffnungen nicht mehr eingeschleudert werden kann, so wird für diesen einen Versuch, Moldano im Verhältnis Pulver / Flüssigkeit wie 100 : 33 gemischt.

Die kleinen Plastikformen werden auf den Messingboden aufgewachst und in die Muffel eingeführt. Geschleudert wird mit 3000 U / min für 20 sec (FÜRER³⁾). Es resultieren kleine, runde Prüfkörper von etwa 1,5 cm Durchmesser und 0,5 cm Dicke. Diese werden für die Teste auf alte Prüfkörper mit Klebewachs befestigt; dann wird genau so verfahren wie mit den großen Prüfkörpern.

s. Tabellen 29 und 30, graph. Darstellung 12.

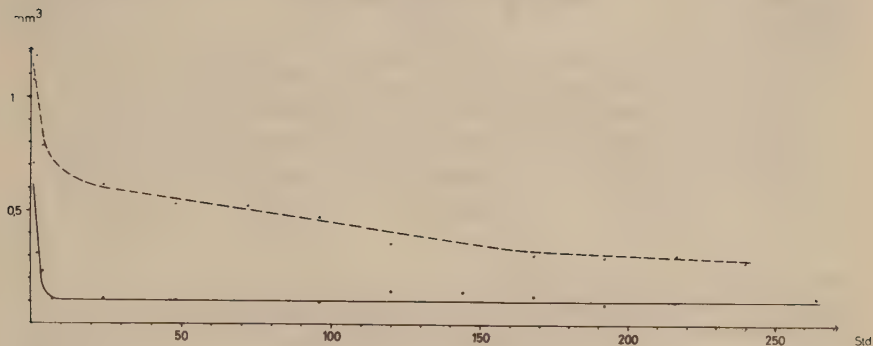
Tabelle 29: Moldano (33/100), zentrifugiert

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
1	1,2761	0,75287	1,1979	1,07562
2	1,5097	1,0804	0,9546	1,1816
4	0,82926	0,80336	0,7251	0,78591
7	0,56156	0,56285	0,54855	0,55432
24	0,73922	0,56301	0,53771	0,61328
48	0,53415	0,56076	0,49804	0,53098
72	0,56126	0,5212	0,4848	0,52243
96	0,46663	0,48087	0,47511	0,4742
120	0,34398	0,33345	0,39434	0,35726
168	0,3071	0,30595	0,30756	0,30687
192	0,29115	0,25969	0,33915	0,29666
216	0,25453	0,30613	0,35961	0,30676
264	0,22632	0,26227	0,34579	0,27813

Tabelle 30: Duroc (24/100), zentrifugiert

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
1	1,0604	0,57648	0,48145	0,70611
2	0,34142	0,26591	0,32719	0,31151
4	0,16919	0,35391	0,17557	0,23289
7	0,075652	0,12242	0,12553	0,107867
24	0,12653	0,12611	0,10538	0,11934
48	0,12668	0,10889	0,091292	0,105621
96	0,08778	0,1015	0,10627	0,09852
120	0,17004	0,15386	0,11989	0,14793
144	0,16143	0,15222	0,12756	0,14374
168	0,13629	0,11832	0,10928	0,12130
192	0,082388	0,11374	0,065755	0,087298
216	0,082745	0,11287	0,10457	0,10062
264	0,11846	0,11545	0,11515	0,11635

Graph. Darstellung 12:



Proben zentrifugiert auf Glas bei 3000 U / min für 20 sec.

Ein Vergleich zwischen Duroc und Moldano.

Moldano (33 / 100) x-----x (s.Tabelle 29)

Duroc (24 / 100) o—————o (s.Tabelle 30)

6. Der Einfluß der Härterlösung (10 % Polystyrollösung in Butylacetat) auf Moldano und Duroc wird in der letzten Serie untersucht. Es werden zwei Reihen angelegt, einmal mit Polystyrol 143 E zum anderen mit Polystyrol 168 N.

Auf die Oberfläche der Prüfkörper wird in einem Arreal von 1 cm x 3 cm mit dem Pinsel die Lösung aufgetragen. Sie kann für 10 sec im Überschuß auf das Material einwirken, dann wird der noch auf der Oberfläche vorhandene Härter mit dem Mund weggeblasen. Eine Stunde danach wird der Test vorgenommen. Als Zeitpunkt für das Härten wird 3, 5, 23 und 47 Stunden nach dem Anrühren gewählt.

s. Tabellen 31 - 42, graph. Darst. 13 - 16.

Tabelle 31: Moldano (25/100), gerüttelt auf Glas, behandelt mit 10%iger Polystyrol-143E-Lösung für 10 sec

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
2	0,38757	0,42028	0,45547	0,42111
4	0,41622	0,40125	0,42144	0,41297
6	0,42213	0,2901	0,25391	0,32205
24	0,19206	0,20782	0,20064	0,20017
49	0,18473	0,18837	0,15956	0,17755

Tabelle 32: Moldano (25/100), gerüttelt auf Glas, behandelt mit 10%iger Polystyrol-168N-Lösung für 10 sec

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
2	0,36568	0,39115	0,36833	0,37505
4	0,33178	0,31578	0,34078	0,32946
6	0,23394	0,21062	0,21937	0,22133
24	0,20884	0,21856	0,22976	0,21907
48	0,11261	0,12915	0,12697	0,12291

Tabelle 33: Moldano (25/100), gerüttelt auf Kerr, behandelt mit 10%iger Polystyrol-143E-Lösung für 10 sec

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
2	0,36312	0,41916	0,44466	0,40898
4	0,52061	0,55034	0,51471	0,52855
6	0,36935	0,27931	0,23359	0,29402
24	0,18405	0,17642	0,14418	0,16822
48	0,11345	0,10105	0,083962	0,099821

Tabelle 34: Moldano (25/100), gerüttelt auf Kerr, behandelt mit 10%iger Polystyrol-168N-Lösung für 10 sec

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
2	0,38757	0,40621	0,39537	0,39638
4	0,45196	0,34766	0,37148	0,39037
6	0,3314	0,2106	0,37332	0,30511
24	0,20949	0,13258	0,13839	0,16015
48	0,15153	0,16063	0,20005	0,17074

Tabelle 35: Moldano (25/100), gerüttelt auf Lastic 55, behandelt mit 10%iger Polystyrol-143E-Lösung für 10 sec

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
2	0,44707	0,5037	0,6394	0,53006
4	0,4355	0,48034	0,50157	0,47247
6	0,46171	0,39115	0,36833	0,40706
24	0,35436	0,19203	0,20973	0,25204
48	0,47376	0,376	0,39559	0,41512

Tabelle 36: Moldano (25/100), gerüttelt auf Lastic 55, behandelt mit 10%iger Polystyrol-168N-Lösung für 10 sec

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
2	0,32157	0,6167	0,52064	0,48630
4	0,46673	0,35546	0,55294	0,45838
6	0,3851	0,31323	0,34543	0,34792
24	0,22999	0,31577	0,38282	0,30953
48	0,35264	0,3647	0,40889	0,37541

Tabelle 37: Duroc (24/100), gerüttelt auf Glas, behandelt mit 10%iger Polystyrol-143E-Lösung für 10 sec

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
2	0,74235	0,4839	0,26184	0,49603
4	0,18885	0,18661	0,13182	0,16909
6	nicht meßbar			
24	0,08772	0,084598	0,08581	0,086043
48	nicht meßbar			

Tabelle 38: Duroc (24/100), gerüttelt auf Glas, behandelt mit 10%iger Polystyrol-168N-Lösung für 10 sec

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
2	0,28657	0,19036	0,21827	0,23173
4	0,12971	0,12006	0,11574	0,12184
6	nicht meßbar			
24	0,071885	0,084548	0,089258	0,081897
48	nicht meßbar			

Tabelle 39: Duroc (24/100), gerüttelt auf Kerr, behandelt mit 10%iger Polystyrol-143E-Lösung für 10 sec

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
2	0,28413	0,51248	0,51386	0,43682
4	0,10551	0,11443	0,12434	0,11809
6	nicht meßbar			
24	0,090228	0,07291	0,067479	0,076872
48	nicht meßbar			

Tabelle 40: Duroc (24/100), gerüttelt auf Kerr, behandelt mit 10%iger Polystyrol-168N-Lösung für 10 sec

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
2	0,43118	0,35652	0,35872	0,38214
4	0,091018	0,15254	0,10332	0,115629
6	nicht meßbar			
24	0,077888	0,10043	0,074682	0,08433
48	nicht meßbar			

Tabelle 41: Duroc (24/100), gerüttelt auf Lastic 55, behandelt mit 10%iger Polystyrol-143E-Lösung für 10 sec

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
2	0,21702	0,24689	0,27329	0,24573
4	0,1422	0,15948	0,17576	0,15915
6	nicht meßbar			
24	0,082737	0,072543	0,06288	0,07273
48	0,061563	0,079022	0,062426	0,06767

Tabelle 42: Duroc (24/100), gerüttelt auf Lastic 55, behandelt mit 10%iger Polystyrol-168N-Lösung für 10 sec

Stunden nach dem Anrühren	Volumen des Abriebspaltes			Mittelwert
	a	b mm ³	c	
2	0,23503	0,21605	0,20995	0,22034
4	0,11613	0,13232	0,12596	0,12480
6	nicht meßbar			
24	nicht meßbar			
48	nicht meßbar			

Graph. Darst. 13: mm³

Moldano (25/100)

behand. mit 10 %

iger Polystyrol- 1

lösung 143 E in

Butylacetat für

10 sec. Der Ab-

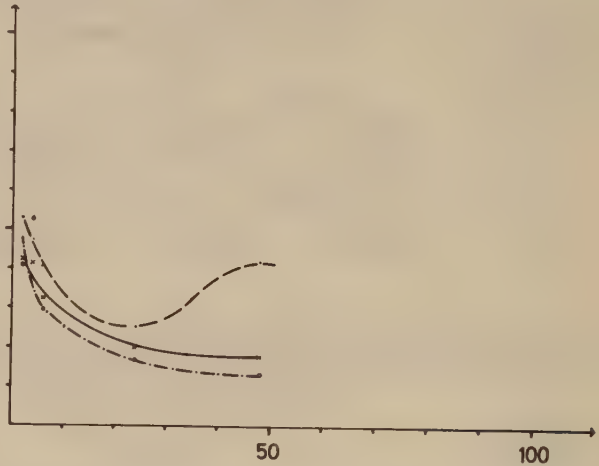
rieb wird ge-

messen eine

Stunde nach Be- 05

handlung mit

der Lösung



Moldano (25/100) x—x gerüttelt auf Glas (s. Tabelle 31)
 Moldano " o-.-.-.-o " " Kerr (s. Tabelle 33)
 Moldano " .-.-.-.-. " " Lastic 55 (s. Tabelle 35)

mm³

Graph. Darst. 14:

Moldano (25/100)

behandelt mit 10 %

iger Polystyrollö-

sung 168 N (Butyl-

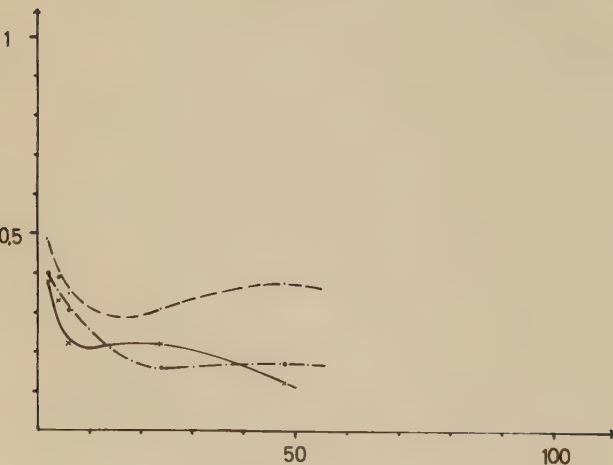
acetat) für 10 sec.

Der Abrieb wird ge-

messen 1 Stunde nach

Behandlung mit der

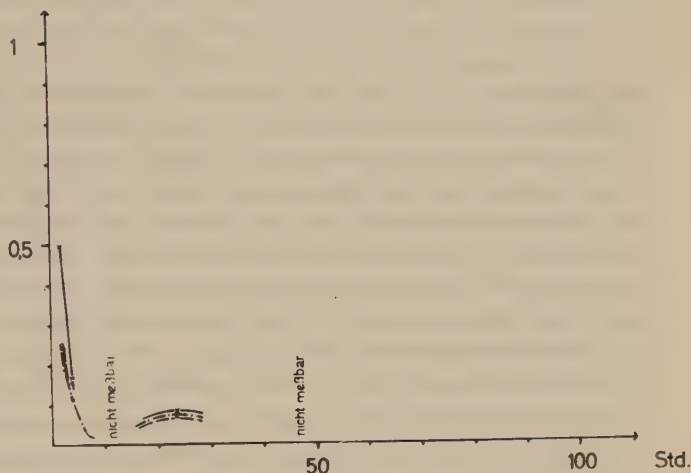
Lösung.



Moldano (25/100) x—x gerüttelt auf Glas (s. Tabelle 32)
 Moldano " o-.-.-.-o " " Kerr (s. Tabelle 34)
 Moldano " .-.-.-.-. " " Lastic 55 (s. Tabelle 36)

Graph-Darst. 15: mm³

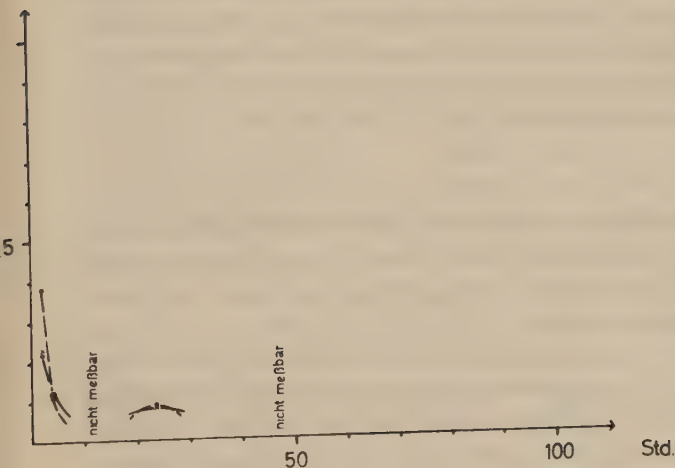
Duroc (24/100)
behandelt mit
10% Polystyrol-
lösung 143 E
(Butylacétat)
für 10 sec.
Der Abrieb
wird gemessen
1 Stunde nach
Behandlung mit
der Lösung



Duroc (24 / 100)
" " "
" " "

gerüttelt auf Glas (s. Tabelle 37)
" " Kerr (s. Tabelle 39)
" " Lastic 55 (s. Tabelle 41)

mm³



Graph-Darst. 16:

Duroc (24/100)
behandelt mit 10%
iger Polystyrol-
lösung (Butylacétat)
für 10 sec. Der
Abrieb wird ge-
messen 1 Stunde
nach Behandlung
mit der Lösung.

Duroc (24/100)
" " "
" " "

gerüttelt auf Glas (s. Tabelle 38)
" " Kerr (s. Tabelle 40)
" " Lastic 55 (s. Tabelle 42)

IV. Ergebnisse

1.) Das Verhalten von Kol Dur zeigen die graphischen Darstellungen 4 - 6. Kol Dur zeigt im allgemeinen in den ersten Stunden nach dem Anrühren eine rapide Festigkeitsabnahme (Steigerung des Abriebvolumens). Mit höherer Temperatur, bei der das Material aushärtet, sinkt das Abriebvolumen erheblich. Die gleiche Tendenz zeigen die Proben mit fallendem Mischungsverhältnis. Von dieser Tatsache sind nur zwei Ausnahmen zu bemerken, deren Grund nicht ohne weiteres ersichtlich ist. Bei der Behandlung mit 60°C liegt das Verhalten von Kol Dur mit dem Mischungsverhältnis 1,5 Tropfen / 1g zwischen den beiden Mischungen von 3 Tropfen / 1g und 2,5 Tropfen / 1g.

Wird Kol Dur bei 80°C gehärtet, so verhalten sich die Mischungsverhältnisse 2,5 Tr/1g und 3 Tr/1g fast gleich, ja das zweite ist sogar geringfügig härter. Allerdings ist diese Mischung eine Stunde nach dem Anrühren noch am weichsten. Kol Dur 1,5 Tr/1g erreicht fast die Härte von Duroc, jedoch ist diese Probe sehr spröde und brüchig.

Die besten Eigenschaften besitzt Kol Dur 2 Tr/1g für 60°min im Memmertschrank bei 70°C . Es läßt sich leicht durchspateln, was bei 1,5 Tr/1g nicht mehr gewährleistet ist. Zum anderen ist das Fließvermögen der Mischung sehr gut, so daß auch kleinste Feinheiten ausfließen, ohne daß gerüttelt werden muß. Bei 1,5 Tr/1g muß schon kräftig mit dem Spatel nachgeholfen werden.

Wird Kol Dur bei 80°C ausgehärtet, so resultieren spröde und rissige Oberflächen. Die Proben zerspringen sehr leicht.

2.) Die graphischen Darstellungen 7 und 8 zeigen das Verhalten der untersuchten Materialien bei Lagerung im Labor (RA) und bei 60°C im Memmertschrank.

Für Duroc, gelagert in normaler Laboratmosphäre, ergibt sich folgendes Bild: 1 Stunde nach dem Anrühren besitzt der Hartgips einen etwa doppelt so großen Abrieb ($0,25777\text{mm}^3 / 5\text{U} \cdot 100\text{g}$), wie nach 2 Stunden ($0,13334\text{mm}^3 / 5\text{U} \cdot 100\text{g}$). Danach sinkt der Abrieb kaum noch. Bis etwa nach vier Tagen zeigt sich eine leichte Abnahme des Abriebvolumens, danach ist keine nennenswerte Änderung mehr festzustellen.

Moldano bietet ein ähnliches Bild wie Duroc. In den ersten Stunden nach dem Herstellen der Mischung verringert sich der Abrieb auf etwa die Hälfte. Von der 1. bis zur 7. Stunde von $0,58786 \text{ mm}^3$ Abrieb auf $0,36482 \text{ mm}^3$ Abrieb. Danach ist über den ganzen Versuchsablauf (10 Tage) eine geringfügige Abnahme des Abriebes festzustellen. Moldano weist aber auch nach 10 Tagen nach Beginn erst eine Härte auf, die ein Drittel des Wertes von Duroc beträgt. Kol Dur zeigt einen vergleichbaren Ablauf. Es zeigt sich allerdings, daß die Zunahme der Härte sich 2 Tage hinzieht, dann kaum noch eine Steigerung festzustellen ist. Der Abrieb sinkt aber während dieser Zeit bis auf den dritten Teil des Beginns ($0,69498 \text{ mm}^3 - 0,19615 \text{ mm}^3$), so daß Kol Dur nach zwei Tagen ein Abriebvolumen aufweist, das genau in der Mitte der von Duroc und Moldano liegt. Werden Duroc und Moldano aber bei 60° C im Trockenschrank aufbewahrt, so ändert sich das Bild. Das Abriebvolumen beträgt schon etwa $3/4$ im Vergleich zu dem, wenn Duroc im Labor aufbewahrt wird. Es nimmt in den ersten 7 Stunden langsamer ab. In den nächsten 113 Stunden ändert sich der Abrieb nicht mehr, während er danach langsam wieder ansteigt.

Das gleiche ist bei Moldano zu beobachten. Nach 1 Stunde beträgt der Abrieb nur $5/6$ dessen bei Laboratmosphäre, fällt dann in den ersten 7 Stunden schnell, um dann in den nächsten 120 Stunden stetig abzunehmen. Danach nimmt der Abrieb genau so stetig wieder zu, um nach 240 Stunden etwa den Wert zu erreichen, den er nach 7 Stunden schon hatte.

3.) Den Einfluß von Lastic 55 und Kerr zeigen die graphischen Darstellungen 9 und 10. Lastic 55 beeinflusst allgemein das Abriebvolumen ungünstig. Duroc ist eine Stunde nach Mischung kaum merklich weniger widerstandsfähig gegenüber der Abrasion, als wenn es gegen Glas gerüttelt wird. Während der ersten 13 Stunden nimmt die abradierte Menge um $1/3$ ab, um sich dann während des ganzen Testes nicht mehr zu verändern. Es verbleibt aber ein Abrieb, der etwa das Doppelte beträgt, als wenn Duroc mit Glas in Kontakt kommt.

Moldano zeigt in der ersten Stunde keine Änderung im Vergleich zu auf Glas gerütteltem Material. Während der ersten 2 Tage

nimmt das Abriebvolumen schneller ab, als bis zum Ende des Versuchs nach 10 Tagen. Im Laufe der 8 Tage verringert sich der Abrieb kontinuierlich, um am Ende noch $7/4$ dessen zu betragen, wenn Moldano während der Abbindezeit in Kontakt mit Glas gekommen ist.

Auf Kol Dur hat Lastic 55 den größten Einfluß. Das Verhalten ist genau so, wenn Glas als Boden der Form benutzt wird, nur hat sich der Abrieb um etwa $0,4 \text{ mm}^3$ erhöht, so daß nach 72 Stunden das 3-fache Abriebvolumen resultiert.

Wird Kerr als Boden der Form benutzt, so zeigt sich nur in den ersten Stunden ein großer Einfluß auf die Materialien. Bei Duroc ist der Abrieb nach der ersten Stunde auf das Doppelte ($0,5 \text{ mm}^3$) erhöht. (Bezugswert Glas). Dann nimmt er sehr schnell ab und erreicht 7 Stunden nach dem Anrühren einen Wert von $0,147 \text{ mm}^3$. Danach sinkt er stetig, um nach 10 Tagen nur etwa $0,03 \text{ mm}^3$ mehr zu betragen als bei Glas. Bei Moldano ist in den ersten 3 Stunden kaum ein anderes Verhalten als bei Glas festzustellen. Nach dieser Zeit aber nimmt der Abrieb schneller ab und erreicht nach 10 Stunden einen Wert, der um $0,08 \text{ mm}^3$ niedriger ist als bei Glas. Danach nimmt er wieder kontinuierlich ab und ist nach 10 Tagen um $0,1 \text{ mm}^3$ niedriger. Kerr hat einen ähnlichen Einfluß auf Kol Dur wie Lastic 55. Der Abrieb ist nur um etwa $0,02 \text{ mm}^3$ bei allen Werten höher. Sein Einfluß ist also ungünstiger als von Lastic 55.

4.) Die graphische Darstellung 11 veranschaulicht den Einfluß des Evakuierens. Das Evakuieren besitzt im ganzen gesehen auch keinen günstigen Einfluß auf die Abriebfestigkeit. Duroc besitzt so nach einer Stunde einen über doppelt so großen Abrieb als ohne Entlüften. Danach nimmt das Abriebvolumen langsam zu und erreicht nach 120 Stunden einen Wert, der nur wenig über dem ohne Evakuieren liegt. Von diesem Zeitpunkt an nimmt die abradierte Menge stetig ab und erreicht nach 10 Tagen den gleichen Betrag wie ohne Vakuumbehandlung. Bei Moldano ist der Abrieb zu Beginn nur wenig erhöht (etwa $0,15 \text{ mm}^3$), nimmt dann langsamer ab und erreicht nach 72 Stunden einen endgültigen Wert, der sich im Verlaufe des Versuchs nicht mehr ändert. Nach 55 Stunden ist der Abrieb gleich

groß, wie ohne Entlüften, nach 72 Stunden sogar niedriger ($0,03 \text{ mm}^3$). Kol Dur dagegen zeigt wieder ein ähnliches Verhalten wie bei Kerr und Lastic 55. Zu Beginn ist der Abrieb erheblich höher als bei Lastic 55 ($0,47 \text{ mm}^3$). Danach sinkt er sehr schnell, erreicht dann nach 96 Stunden einen Wert, der um $0,06 \text{ mm}^3$ höher liegt als bei Lastic 55. Dieser Mehrbetrag bleibt bis zum Ende des Versuchs bestehen.

5.) Die Änderung des Abriebvolumens, bedingt durch das Zentrifugieren, zeichnet die graphische Darstellung 12 auf. Zentrifugiert man Duroc, so erhält man nach einer Stunde ein Modell, das den gleichen Abrieb wie nach dem Evakuieren besitzt. Danach sinkt in den nächsten Stunden das Abrasionsvolumen sehr stark und erreicht nach 7 Stunden schon einen endgültigen Wert, der nur von dem bei Aufbewahrung im Memmertschrank bei 60° C geringfügig ($0,006 \text{ mm}^3$) unterbitten wird.

Moldano zeigt einen weitaus günstigeren Effekt. Obgleich der Abrieb doppelt so hoch am Beginn des Versuches ist als ohne Behandlung, muß bedacht werden, daß es sich bei diesem Test um Moldano von dem Mischungsverhältnis 100 : 33 (Pulver / Wasser) handelt. Am ersten Tag sinkt der Abrieb auf ungefähr $0,6 \text{ mm}^3$. Von diesem Zeitpunkt an nimmt das Volumen stetig ab und erreicht nach 10 Tagen einen Wert, der geringer ist als bei dem Mischungsverhältnis von 100 : 25 (Pulver / Flüssigkeit) ohne Behandlung.

6.) Die Frage, inwieweit die Härterlösungen Polystyrol 143 E und Polystyrol 168 N das Abriebvolumen beeinflussen, beantworten die graphischen Darstellungen 13 - 16.

Die Härterlösungen haben einen sehr positiven Einfluß auf die Abriebfestigkeit. Wird eine Stunde nach Anrühren die Härterlösung 143 E für 10 sec zur Einwirkung auf die Oberfläche gebracht, so erhöht sich nach zwei Stunden das Abrasionsvolumen bei dem auf Glas gerüttelten Duroc auf das Doppelte, während bei Lastic 55 und Kerr keine Veränderung gefunden wird. Doch schon nach 6 Stunden (1 Stunde vorher wird die Härterlösung aufgetragen) ist bei allen drei Proben der Abrieb so gering, daß das Volumen nicht mehr ausgemessen werden kann.

Nach 24 Stunden ist der Abrieb wieder meßbar, das Volumen ist etwas geringer als ohne Härterlösung. Nach 48 Stunden ist kein meßbarer Wert mehr nachweisbar. Ähnlich verhält sich Duroc nach Behandlung mit Polystyrol 168 N. Hier ist allerdings eine Zunahme des Abriebvolumens nach 2 Stunden bei Lastic 55 festzustellen. Dafür kann auch nach 24 Stunden nicht ein meßbarer Abrasionsspalt gefunden werden. Moldano verhält sich grundsätzlich gleich Duroc. Es bleiben aber alle Werte meßbar. Bei Behandlung mit Polystyrol 143 E liegt das Minimum des Abriebes bei Lastic 55 nach etwa 20 Stunden, während es bei Kerr und Glas erst nach 48 Stunden erreicht wird. Alle Werte liegen aber deutlich niedriger als ohne Behandlung. Ein etwas geringerer Abrieb resultiert nach Bearbeitung mit Polystyrol 168 N, sonst ist das gleiche Bild festzustellen. Nach 48 Stunden sinkt aber der Wert für Glas noch unter den für Kerr.

C. D I S K U S S I O N

Das Abrasionsvolumen nimmt bei Kol Dur mit steigender Aushärtetemperatur und mit fallendem Mischungsverhältnis ab (graphische Darstellungen 4 - 6). Es besitzt eine spiegelglatte Oberfläche, was von den Hartgipsen nicht immer gesagt werden kann. Bei hoher Temperatur im Memmertschrank werden allerdings die Proben spröde und die Oberfläche bekommt Sprünge. Dies liegt an dem plötzlichen Einsetzen der hohen Temperatur. Zweckmäßig ist es demnach, erst mit niedrigeren Temperaturen zu beginnen und dann langsam auf die Endtemperatur heraufzuschalten. Dabei wird allerdings eine große Zeitspanne benötigt, aber die Verminderung des Abriebs ist doch recht beachtlich.

Die Prüfung der Ergebnisse der Fig. 7 zeigt, daß Duroc schon nach 4 Stunden die endgültige Abriebfestigkeit erreicht, während Moldano etwa die dreifache Zeit benötigt. Bei beiden nimmt dann der Abrieb kaum noch zu. Kol Dur braucht etwa zwei Tage, um bei einer Härtung von 1 Stunde bei 70° C im Memmertschrank einen vergleichbaren Punkt zu erreichen. Duroc ist das abriebfesteste Material, dann folgt Kol Dur, dann Moldano.

Die graphische Darstellung 8 verdeutlicht den Einfluß der trockenen Wärme auf das Abrasionsvolumen. Beide Hartgipse weisen schon nach 5 Stunden einen Abrieb auf, der niedriger ist als ohne Wärmebehandlung. Nach 5 Tagen aber beginnt die trockene Hitze einen ungünstigen Einfluß auszuüben. Moldano hat zu diesem Zeitpunkt einen Abrieb, der nur noch etwa das Doppelte von dem bei Duroc beträgt, ist also erheblich härter geworden. Danach aber steigt bei beiden (Duroc wenig, Moldano mehr) kontinuierlich das Abriebvolumen wieder an. Dieses Verhalten ist nach unserer Meinung in dem nun einsetzenden Verlust von chemisch gebundenem Wasser begründet, während bis zu diesem Zeitpunkt nur das physikalisch gebundene Wasser aus dem Prüfkörper ausgetrieben wurde. Das würde bedeuten, daß das Dihydrat nach 5 Tagen zerstört wird. Zu einem ähnlichen Resultat kommt FAIRHURST⁴⁾ bei der

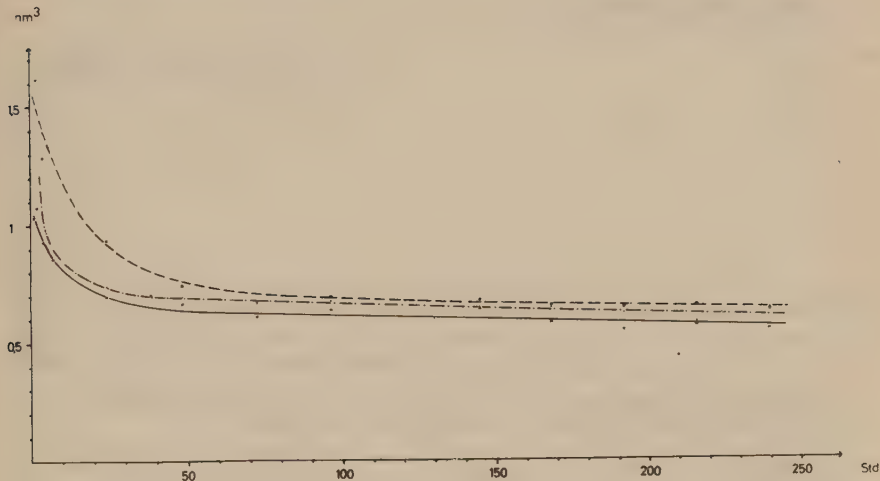
Brinellhärtebestimmung von Gipsen.

Evakuieren hat einen ungünstigen Einfluß auf das Abrasionsvolumen (graphische Darstellung 11). Ein Grund für dieses Verhalten ist nicht ohne weiteres ersichtlich. Duroc ist zu Beginn des Versuches erheblich weicher und erreicht erst nach etwa 3 Tagen einen Abrieb, der sich dann kaum noch verringert. Moldano erreicht die endgültige Härte schon nach etwas mehr als 2 Tagen, hat aber eine schlechtere Oberfläche, da der Zeitverlust durch das Evakuieren bedingt, daß die Mischung schon aushärtet, während die Form gefüllt wird. Bei Kol Dur zeigt sich eine sehr negative Einwirkung des Entlüftens. In den ersten Stunden ist der Abrieb stark erhöht und erreicht erst nach 6 Tagen einen Wert, der noch etwa das Dreifache von dem ohne Behandlung beträgt. Ganz ähnlich ist der Einfluß der Abdruckmaterialien Lastic 55 und Kerr, nur sind die Anfangswerte nicht ganz so hoch, dabei schneidet Lastic 55 noch am besten ab (graphische Darstellung 17).

Die graphischen Darstellungen 18 und 19 zeigen den Einfluß der Abdruckmaterialien Kerr und Lastic 55 auf die Hartgipse im Vergleich zu Glas. Lastic 55 erhöht bei beiden das Abrasionsvolumen am meisten. Kerr hat dagegen bei Moldano eine Verringerung des Abriebes zur Folge, während es bei Duroc eine leichte Erhöhung mit sich bringt, die aber nicht so stark wie bei Lastic 55 ist.

Das Zentrifugieren hat eine Abnahme des Abrasionsvolumens zur Folge (graphische Darstellung 12). (Die graphischen Darstellungen 20 und 21 zeigen den Einfluß im Vergleich zum Entlüften und der Behandlung mit trockener Wärme) Es muß beachtet werden, daß Moldano hier mit einem Mischungsverhältnis von 100 : 33 (Pulver / Flüssigkeit) vorliegt. Die Zunahme des Abriebes in den ersten Stunden beruht unseres Erachtens auf folgendem Effekt: Beim Zentrifugieren lagern sich die schweren Partikel auf dem Boden der Muffel ab, während sich auf der Oberfläche des Modellstumpfes ein Wasserfilm bildet. Der Oberfläche des Modells steht also nicht die Menge Wasser zur Verfügung, die dem Mischungsverhältnis entspricht. Die obersten Lagen des Modelles können nicht vollständig aushärten, erst nachdem sie während kurzer Zeit Wasser

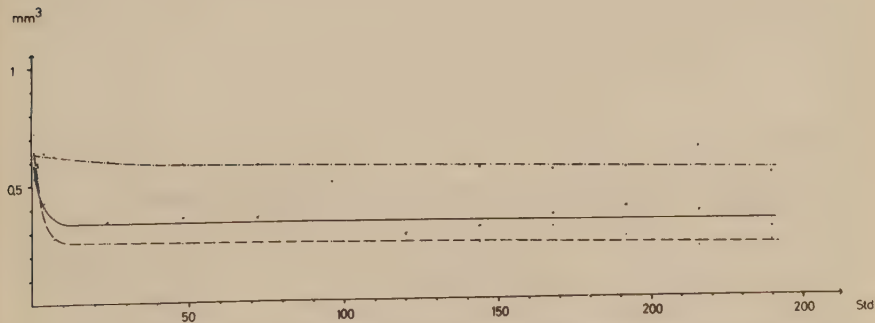
Graph. Darstellung 17 :



Zusammenfassung der verschiedenen Einflüsse auf Kol Dur
(2 Tr/1g für 1 Std. im Memmertschrank bei 70° C.

Entlüftet unter Vakuum für 30 sec	o - - - - o	(s. Tabelle 28)
Gerüttelt auf Kerr	.-.-.-.-.	(s. Tabelle 24)
Gerüttelt auf Lastic 55	x ——— x	(s. Tabelle 25)

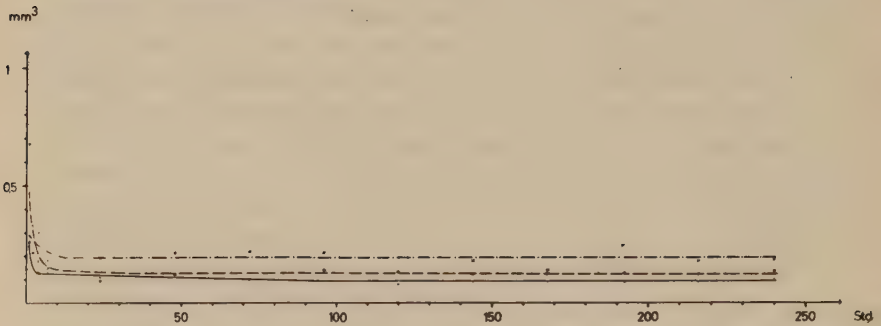
Graph. Darstellung 18 :



Vergleich der Einflüsse der Abdruckmassen Lastic 55 und
Kerr auf Moldano (25/100) im Vergleich zu Glas.

Gerüttelt auf Glas	x ——— x	(s. Tabelle 16)
Gerüttelt auf Kerr	o - - - - o	(s. Tabelle 20)
Gerüttelt auf Lastic 55	.-.-.-.-.	(s. Tabelle 22)

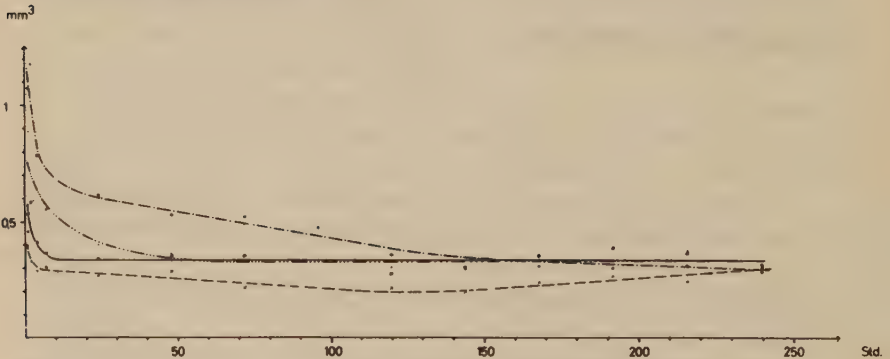
Graph. Darstellung 19 :



Vergleich der Einflüsse der Abdruckmassen Lastic 55 und Kerr auf Duroc (24/100) im Vergleich zu Glas.

Gerüttelt auf Glas .———. (s. Tabelle 17)
 Gerüttelt auf Kerr o- - - - o (s. Tabelle 21)
 Gerüttelt auf Lastic 55 x-.-.-.-x (s. Tabelle 23)

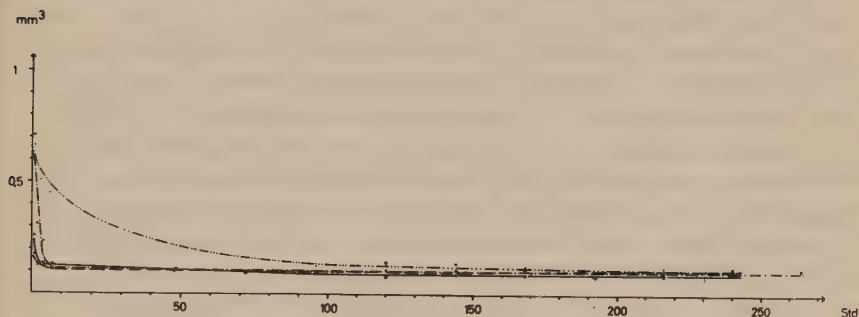
Graph. Darstellung 20 :



Vergleich der verschiedenen Einflüsse auf Moldano.

Moldano (25/100) gelagert im Labor x——x (s.Tab.16)
 Moldano " " " Memmertschrank bei 60° C x- - - x (s.Tab.18)
 Moldano " unter Vakuum angerührt .-.-.-. (s.Tab.26)
 Moldano (33/100) zentrifugiert auf Glas o-.-.-o (s.Tab.29)
 mit 3000 U/min für 20 sec

Graph. Darstellung 21 :



Vergleich der verschiedenen Einflüsse auf Duroc.

Duroc (24/100) gelagert im Labor	x—x	(s.Tab.17)
Duroc " " " Memmertschrank bei 60° C	x- - -x	(s.Tab.19)
Duroc " unter Vakuum angerührt	.-.-.-.-	(s.Tab.27)
Duroc " zentrifugiert auf Glas mit 3000 U/min für 20 sec	o-.-.-.-o	(s.Tab.30)

aus der Umgebung absorbiert haben, erlangen sie eine Festigkeit, die höher ist als ohne Zentrifugieren. Dies ist auf die größere Dichte zurückzuführen. CARLASSARE¹⁾ ist bei seinen Untersuchungen zu einem ähnlichen Ergebnis gekommen: Zentrifugieren hatte dabei einen ungünstigen Einfluß auf die Druck- und Biegebelastung der Gipse.

Eine Abnahme des Abriebvolumens wird durch die Behandlung mit der 10 %igen Polystyrollösung erzielt. Dabei stellt sich heraus, daß etwa 6 Stunden nach der Anrührzeit bei Duroc die größte Festigkeit erreicht wird. Bei Moldano erst nach 24 Stunden. Polystyrol 143 E hat bei Duroc einen etwas besseren Effekt, während bei Moldano das höher molekulare Polystyrol 168 N etwas günstiger ist. Inwieweit dieses Verhalten durch die Molekülgröße, die ja die Eindringtiefe mitbestimmt, bedingt ist, kann ohne nähere Untersuchung nicht beantwortet werden.

Zusammenfassende Betrachtung.

Von allen drei getesteten Materialien schneidet bei unseren Versuchen Kol Dur am ungünstigsten ab. Schabt man jedoch z.B. mit einem Pinselschaft (Holz) auch mit erheblichem Druck über die Oberflächen der Prüfkörper, so ist bei Kol Dur nicht der geringste Abrieb festzustellen, bei Duroc und Moldano bildet sich jedoch immer etwas Gipsstaub. Dies ist durch die "rauhe" Oberfläche der Hartgipse bedingt, während die "spiegelglatte" Oberfläche von Kol Dur dem stumpfen Instrument keine Möglichkeit zum Herausreißen einzelner Partikelchen bietet, sondern eher noch poliert wird. Da im Labor zum überwiegenden Teil mit stumpfen Modellinstrumenten gearbeitet wird, dürfen die relativ schlechten Ergebnisse unserer Versuche nicht überbewertet werden. Denn eine einzelne Materialeigenschaft berechtigt noch nicht zu einem endgültigen Werturteil eines Modellmaterials, an das mehrere Forderungen gestellt werden müssen, wie z.B. Volumenbeständigkeit, Kantenfestigkeit, Oberflächenglätte usw.

D : Z U S A M M E N F A S S U N G

Zur Bestimmung der Abrasionsfestigkeit der Modellmaterialien wurde eine neue Apparatur entwickelt, die die schädlichen Einflüsse der Bearbeitung im Labor recht gut nachahmt. Untersucht wurden die beiden Hartgipse Moldano und Duroc und zum Vergleich dazu ein anderer Stoff, eine Kombination von Kunststoff und Metall, Kol Dur.

Die unterschiedlichen Ursachen, die die Festigkeit beeinflussen, wurden untersucht, als da sind: Trockene Wärme, Einfluß der Abdruckmassen (Lastic 55 und Kerr), Evakuieren, Zentrifugieren und der von TORESKOG²⁰⁾ und seinen Mitarbeitern entwickelte Härter (10 %ige Polystyrollösung in Butylacetat).

Folgende Ergebnisse wurden erzielt :

Duroc hat sich in allen Versuchen als das beste Material erwiesen. Moldano ist etwa dreimal weicher als dieses. Kol Dur zeigt eine sehr gute Oberfläche, aber die schlechteste Festigkeit bei Lastic 55, Kerr und Vakuumbehandlung. Nur wenn als Boden der Form Glas benutzt wird, ist es nach einigen Stunden härter als Moldano.

Die Abdruckmassen haben im allgemeinen einen ungünstigen Einfluß auf die Materialien, nur bei Moldano findet sich bei Kerr gegenüber dem indifferenten Glas ein positiver Effekt. Lastic 55 schneidet am schlechtesten ab. Das Entlüften unter Vakuum zeigt bei allen drei getesteten Materialien eine Minderung der Festigkeit während der ersten Tage.

Zentrifugiert man die Hartgipse, so ist die Festigkeit zu Beginn geringer, nimmt aber sehr schnell zu und erreicht dann größere Werte als ohne Behandlung. Die Behandlung mit trockener Wärme bietet in den ersten Stunden eine Verbesserung der Fähigkeit, der Abrasion Widerstand zu leisten. Bei Duroc wird im allgemeinen kaum eine merkliche Härtesteigerung erzielt, während Moldano nach 5 Tagen eine gute Steigerung der Härte aufweist. Danach wird bei längerer Wärmebehandlung allerdings das Gefüge des Gipses durch weiteren Wasserentzug in irgendeiner Weise beeinträchtigt.

Die Härterlösung ergibt für beide Hartgipssorten nach ein paar Stunden eine größere Härtesteigerung. Der negative Einfluß der Abdruckmassen wird vollständig rückgängig gemacht. Die Abriebfestigkeit ist höher als bei den Oberflächen, die beim Aushärten mit Glas in Kontakt waren. Dabei hat die höhere molekulare Lösung einen etwas besseren Effekt. Bei einzelnen Modellen ist es zweckmässig, die ganzen Stümpfe für 10 sec in die Härterlösung zu tauchen und danach den Überschuß wegzublasen. Es resultiert auf der Oberfläche ein ganz dünner Film aus Polystyrol, der aber so dünn ist, daß er klinisch unbedeutend ist (HOSODA⁵).

Es hat sich gezeigt, daß in allen Versuchen Duroc am besten abschneidet. Kol Dur am schlechtesten. Letzteres hat aber bei weitem die beste Oberfläche. Es besitzt ein sehr gutes Fließvermögen. Wird beim Aushärten die Temperatur langsam gesteigert, so wird wahrscheinlich der negative Einfluß der Abdruckmassen weitgehend rückgängig gemacht.

Moldanomodelle sollten erst nach 10 Stunden zur Verarbeitung benutzt werden, während Duroc bereits nach 5 Stunden die beste Festigkeit besitzt. Kol Dur sollte im Memmertschrank langsam ausgehärtet werden, dann erreicht man eine Festigkeit, die beinahe die von Duroc erreicht.

Es ist ratsam, beim Modellieren der Wachsform auf dem Modellstumpf mit stumpfen Modellierwerkzeugen zu arbeiten, da trotz aller Vorsicht der Gebrauch von scharfen Instrumenten zu erheblich größeren Schäden am Stumpf führt.

F: L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

1. Calassare; A.,
Travaglini; A.P.: Resistenza di midelli in gesso ottenuti con tre diversi metodi di colatura, Minerva stom. Torino 10 (1961) Hz, 118
2. Falck Weickart; K.u.P.: Werkstoffkunde für Zahnärzte, Hauser Verlag Münden 1959 S. 172, 176, 196, 200
3. Fürer; C.: Vergleichende Untersuchungen über Porosität, Oberflächenrauigkeit und Kristallaufbau von Hartgips- und Einbettmasse - modellen hergestellt nach dem Zentrifugier und dem Einrüttelverfahren, Diss. Marburg 1966
4. Fairhurst; C.W.: Compressiv Properties Dental Cypsum. J. Dent.Res. 39(1960), H. 4, 812
5. Hosoda; H., Otoni; H.,
Hirano; T. und Fusayama; T.: Measurement and Reinforcement of the Superficial Hardness of Indirekt Stone Models, J.Dent. Res. 41: (1962) H.4, 752
6. Janke; G.: Ein neues laborgerechtes Verfahren für den Präzisionsguß von Edelmetallen. DDZ 1966 H. 13 S. 413-421
7. Mahler; D.B.: Hardness and Flow Properties of Gypsum Materials, J. Pros. Dent. 1 (1957), 188
8. Meisinger: Meisinger Informationen, Düsseldorf H. 2
9. Östlund; S.: Centrifugeringes m.m. Betydelse för ythardheten hos perapationsmodeller av hardgips, Odont.Revy Vol. 6 Nr. 2 (1955), 183
10. Östlund; S.: Ythardkretsbestämning av preparationsmodeller, Odont.Revy Vol. 9, (1958), H. 2, 106
11. Östlund; S.: Getting Resistance Tests of Die Materials, J.Pros.Dent. 6 (1959), 461
12. Peyton; F.A., Leibold; J.P.
und Ridgley; G.V.: Surface Hardness, Compressiv Strength and Abrasion Resistance of Indirekt Stones, J.Pros.Dent. 2, (1952) 381
13. Phillips; R.W. und Ito; B.Y.: Factors Affecting the Surface of Stone Dies Poured in Hydrolloid Impressions, J. Pros.Dent. 2 (1952) 390
14. Prenz; D.: Untersuchungen über Veränderungen der Einbettmassen im Vakuum, Dt. Stomat. 14 (1964) H. 4, 241
15. Schiller; F.: Eine Maschine zur Prüfung der Abrasion von Kunstharzzähnen, Zahnärztl.Praxis München 16(1965) H.2, 15

16. Schlenk; W.: Organische Chemie, Sammlung Goeschen
Walter de Gruyter & Co. Berlin 1960
Bd. 38/38g, 76, 185
17. Schwindling; R. und
Genieser, H.: Volumenverhalten, Härte und Bruch-
festigkeit von zahnärztl. Hartgipsen
DZMn.Kieferheilkunde, Barth Leipzig,
Bd. 37 (1962), 317
18. Sexson; J.C. und
Philipps; R.W.: Studies on the Effekts of Abrasives on
Acrylic Resins,
J. Pros. Dent. 1 (1957), 454
19. Spreng; M.: Eine indirekte Goldinlaymethode
Schweiz. Monatszeitschr. f. Zahnheil-
kunde (1929) H. 11, 641
20. Toreskog; S., Phillips;
R.W. und Schnell; R.W.: Properties of Die Materials: A Com-
perative Study,
J. Pros. Dent. 1 (1966), 119

Für die Überlassung des Themas und die liebenswürdige Unterstützung bei der Planung und Durchführung der vorliegenden Arbeit danke ich meinem verehrten Lehrer Herrn Professor Dr. Georg Janke.

Lebenslauf

Am 13. September 1940 wurde ich als Sohn des Zahnarztes Fritz Elsner und seiner Ehefrau Dorothea Elsner, geb. Stehr in Habelschwerdt/Niederschlesien geboren.

Am 24. März 1946 erfolgte die Ausweisung aus Habelschwerdt. Vom 5. April 1946 bis 4. September 1946 wohnten wir in Börnste bei Dülmen / Westfalen und seit dem 4. September 1946 in Oberkaufungen. Nach 5 Jahren Volksschule in Oberkaufungen besuchte ich ab Ostern 1952 das Realgymnasium Wesertor in Kassel, wo ich Ostern 1961 die Reifeprüfung ablegte. Mein Zahnmedizinstudium begann ich im Mai 1961 an der Philipps-Universität Marburg. Im Herbst 1963 bestand ich das Physikum der Zahnmedizin in Marburg, sowie im Herbst 1966 das Staatsexamen. Danach bin ich als Assistent und Vertreter tätig gewesen und befinde mich seit November 1967 als Stabsarzt bei der Bundeswehr.

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die
Damen und Herren Professoren und Dozenten:

Amon, Bommer, Braun-Falco, Brück, Bücher, Cleve,
Dimroth, Dölle, Gedigk, Hennis, Hering, Heuser,
Hohorst, Janke, Klingenberg, Korb, Lang, Mahr,
Mann, Marx, Maurath, Niessing, Pantke, Petry,
Pfütz, Rodeck, Rosemann, Schiff, Schuid, Schmidt,
Seidel, Siegert, Siess, Staib, Vogt, Walcher.

